







45891







*Van de Walle*

*zu Leen*

ÉTUDE

SUR

LE RÉGIME DE LA CÔTE DE BELGIQUE

ET SUR

LES MOYENS D'AMÉLIORER LES PORTS

DE CE LITTORAL.



Bruges, imp. méc., DAVELUY, Lith. du Roi, Quai Vert.



ÉTUDE  
SUR  
LE RÉGIME DE LA CÔTE DE BELGIQUE  
ET SUR  
LES MOYENS D'AMÉLIORER LES PORTS  
DE CE LITTORAL,

PAR  
P. DE MEY,

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSEES.

---

TEXTE.

---

BRUXELLES,  
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE JULES DECQ,  
9, rue de la Madeleine, 9,  
1885.







## AVANT-PROPOS.

---

Le concours annuel pour le prix de 25,000 francs, institué par la générosité éclairée de Sa Majesté le Roi Léopold II, a eu pour objet, en 1881 : *Des moyens d'améliorer les ports établis sur des côtes basses et sablonneuses comme celles de la Belgique* <sup>(1)</sup>.

Aujourd'hui surtout que, dans notre pays, à l'exemple des nations voisines, on se préoccupe vivement de tout ce qui concerne le trafic maritime, cette question présente un intérêt considérable. Mais elle est aussi d'une grande difficulté; les conditions très-complexes qui caractérisent le régime des côtes, diffèrent le plus souvent d'un point à un autre, de sorte que les solutions proposées, d'une manière générale, pour l'amélioration des ports, outre qu'elles laissent le champ ouvert aux discussions, doivent, quant à leur application, faire pour chaque port en particulier, l'objet d'une étude spéciale.

Si l'on voulait donc traiter, d'une façon complète, une matière aussi étendue et qui occupe depuis tant d'années la sagacité des savants et des praticiens, il faudrait passer en revue les travaux les plus importants et les essais nombreux faits aux principaux ports connus, exposer et analyser les résultats obtenus, les classer suivant un ordre rationnel, enfin, déduire de l'ensemble les règles qu'il convient de suivre dans les divers cas. Notre service ordinaire d'ingénieur ne nous laisse ni le temps, ni la liberté d'esprit pour entreprendre pareille tâche, et notre ouvrage, nous avons hâte de le dire, s'écarte beaucoup de ce programme.

Nous croyons cependant qu'il offrira une certaine utilité, surtout pour ceux qui sont appelés à s'occuper des ports de la côte des Flandres.

Ayant eu la bonne fortune d'être attaché, en 1869, dès notre début dans l'administration des Ponts et Chaussées, aux travaux de la côte de Blankenberghe, sous la direction de M. Piens, Ingénieur d'une grande expérience, nous avons

<sup>(1)</sup> Le jury chargé du jugement de ce concours, auquel, dit-on, un grand nombre de concurrents de tous les pays ont pris part, n'a pas encore terminé ses travaux.



été chargé, à cette époque, de dresser le plan du littoral, depuis la frontière française jusqu'à la frontière néerlandaise. Nous avons continué ce travail pendant que nous dirigeons le service de l'arrondissement de Nieupoort-Furnes, sous les ordres de M. l'Ingénieur en Chef Crepin, qui a été pour nous un guide des plus précieux. Dans ces conditions favorables, il nous a été possible de faire des observations journalières, et de recueillir de nombreux renseignements relatifs au régime de la côte de Belgique. Les résultats de ces recherches, que nous avons réunis pour notre propre usage et sans intention de les publier, nous ont servi à rédiger un mémoire destiné au concours pour le prix du Roi. C'est ce mémoire que nous publions aujourd'hui, après l'avoir revu et complété avec soin.

Il comprend deux parties.

La première est divisée en quatre chapitres. Le chapitre I traite des mouvements de la mer; nous y rappelons, d'après les meilleurs auteurs, la théorie des marées et l'explication de la formation des courants, spécialement en ce qui concerne la Manche, le Pas-de-Calais et la partie méridionale de la mer du Nord, pour parler ensuite du régime des marées observées devant le littoral des Flandres et à l'embouchure de l'Escaut. Un paragraphe spécial y est consacré au mouvement des vagues. Le chapitre II a pour objet la description des côtes et du fond des mers précitées, ainsi que la marche des alluvions dans ces parages. Après avoir examiné, au chapitre III, la situation hydrographique de la côte, depuis Calais jusqu'à Flessingue, nous nous occupons assez longuement, au chapitre suivant, du régime des fonds sous-marins et des plages qu'on y rencontre, en nous basant sur la comparaison des cartes marines anciennes avec les cartes les plus récentes. Pour la côte de Belgique, qui est parsemée de bancs de sable, séparés par des passes plus ou moins profondes, le régime des fonds sous-marins est d'une importance capitale, puisqu'il détermine les conditions d'accessibilité des divers atterrages de ce littoral. C'est ce qui nous a décidé à reproduire, dans notre atlas, des extraits de ces différentes cartes, que nous avons eu de la peine à réunir au complet et qui pourront être consultés avec utilité dans l'avenir.

L'autre partie du mémoire est consacrée aux questions relatives à l'amélioration des ports. Elle est divisée également en quatre chapitres qui traitent : le premier, des moyens généralement en usage ou qui ont été proposés pour donner aux ports à marée les meilleures dispositions, et pour y maintenir la profondeur voulue, tant à l'entrée qu'à l'intérieur; le second, des ports de la côte des Flandres, depuis Calais jusqu'à l'embouchure de l'Escaut, considérés plus particulièrement au point de vue du régime de la barre à l'entrée du chenal; le troisième, de l'amélioration des ports existants sur le littoral de Belgique; le



quatrième, de quelques ports en eau profonde, construits ou projetés par nos voisins du nord, du sud et d'outre-Manche, et du projet d'établissement d'un nouveau port à Heyst.

En indiquant quelle serait, d'après nous, la marche à suivre pour améliorer les ports de Nieuport et d'Ostende, ou pour créer un nouveau port à Heyst, nous nous sommes préoccupé exclusivement du côté technique de la question, en faisant ressortir les avantages et les inconvénients que chacun de ces points présente sous le rapport hydrographique. Nous n'avons pas eu l'intention de désigner autrement un point de la côte, de préférence à un autre, pour y établir un port de premier ordre, ni de discuter la question de l'opportunité qu'il peut y avoir à réaliser pareil projet, lequel paraît, dans l'idée d'un grand nombre, s'imposer à l'attention du Gouvernement.

La Belgique, par sa position géographique au milieu des pays les plus peuplés de l'Europe, et aussi par sa propre industrie qui lui permet de recevoir de nombreux produits étrangers et d'exporter les siens, a acquis, dans le dernier quart de siècle, une importance commerciale considérable, et qui s'accroît de jour en jour. Celle-ci s'est concentrée presque tout entière dans le port d'Anvers, lequel est accessible en tout temps aux plus grands navires, grâce à l'entrée facile de l'Escaut, dont la passe principale, le Wielingen, a une profondeur d'au moins 9<sup>m</sup>,00 et qui, par sa largeur et son éloignement de la côte, offre des conditions excellentes pour la navigation.

En 1833, le tonnage des navires entrés à Anvers n'était que de 127 000 tonnes; il a augmenté depuis d'une manière constante, et s'élevait à 593 000 tonnes en 1863, année de l'affranchissement de l'Escaut. A partir de ce moment, le port a pris un développement vraiment prodigieux; le tonnage est évalué, pour 1883, à 3 857 934 tonnes, et Anvers occupe actuellement, en importance maritime, le troisième rang parmi les ports de l'Europe.

Les magnifiques quais qui viennent d'être construits dans l'Escaut, devant la ville, contribueront largement à assurer cette prospérité toujours grandissante. Ces quais ont 3500 mètres de longueur et le mouillage au pied du mur est de 8<sup>m</sup>,00 au moins à marée basse; 50 grands steamers peuvent venir s'y placer en première ligne et les plus gros bâtiments les accostent directement à tout état de la marée. Des conditions aussi favorables pour le chargement et le déchargement rapides des navires ne se rencontrent dans aucun port de l'Océan.

C'est avec l'Angleterre surtout que les relations commerciales de la Belgique sont les plus actives, et celles-ci comprennent l'expédition d'une quantité considérable de marchandises en transit pour l'Allemagne, la Suisse, la France, etc.



Un grand port construit sur le littoral ne contribuerait-il pas à augmenter encore ce courant commercial déjà si extraordinaire, surtout en ce qui concerne le transit avec l'Angleterre ?

Il est difficile sans doute de répondre à cette question avec quelque certitude, et de dire jusqu'à quel point l'avenir justifierait ou non, les espérances que l'on peut concevoir à cet égard.

L'établissement d'un outillage maritime, quelque perfectionné qu'il soit, ne suffit pas, en effet, pour attirer la navigation dans un port nouveau; on ne doit s'attendre à la naissance ou au développement d'une ville commerciale qu'en raison des exigences économiques et des convenances du commerce, et il existe plus d'un exemple où des millions, dépensés en travaux de ce genre, l'ont été à peu près en pure perte.

Dans notre pays cependant, où le trafic maritime se développe d'une manière si rapide, et qui possède une côte de 65 kilomètres d'étendue, placée en face de l'Angleterre, il semble naturel de chercher à tirer profit de cette situation et d'établir sur le littoral un port bien aménagé, qui servirait en quelque sorte de complément à celui d'Anvers. Comme avantage, ce port offrirait au commerce des installations moins coûteuses, à cause du peu de valeur des terrains; il serait dans tous les cas d'une grande utilité pendant les hivers rigoureux, lorsque l'Escaut est fermé par les glaces, et il constituerait une ressource précieuse, si des conflits politiques devaient un jour menacer notre métropole. Quoi qu'il en soit, nous croyons que dans l'exécution de projets de l'espèce, il convient de procéder avec prudence, en combinant ceux-ci de façon à pouvoir être réalisés par parties successives et à mesure que le développement commercial en démontrerait la nécessité. Toutefois, la première partie devrait comprendre tous les travaux destinés à créer une entrée commode et suffisamment profonde pour les grands navires.

Ajoutons à ce propos que certains projets, qui ont été mis en avant dans le but de construire, devant la côte de Belgique, des rades couvertes artificielles ou des ports en pleine mer, et qui peuvent, à première vue, paraître fort séduisants, ne nous semblent guère à conseiller. Ces projets, excessivement coûteux d'abord, ne résistent pas à un examen approfondi; car sur notre littoral, on ne doit pas seulement compter avec les difficultés ordinaires, résultant de la marche des alluvions, ensablements à l'entrée et envasements à l'intérieur des ports, mais aussi avec celles qui sont inhérentes à la configuration et au régime hydrographique de la terrasse sous-marine et qui excluent pour ainsi dire ce genre de travaux.

Il est néanmoins entendu, nous tenons à le déclarer d'une façon formelle, que les appréciations émises dans cet écrit nous sont absolument personnelles, et



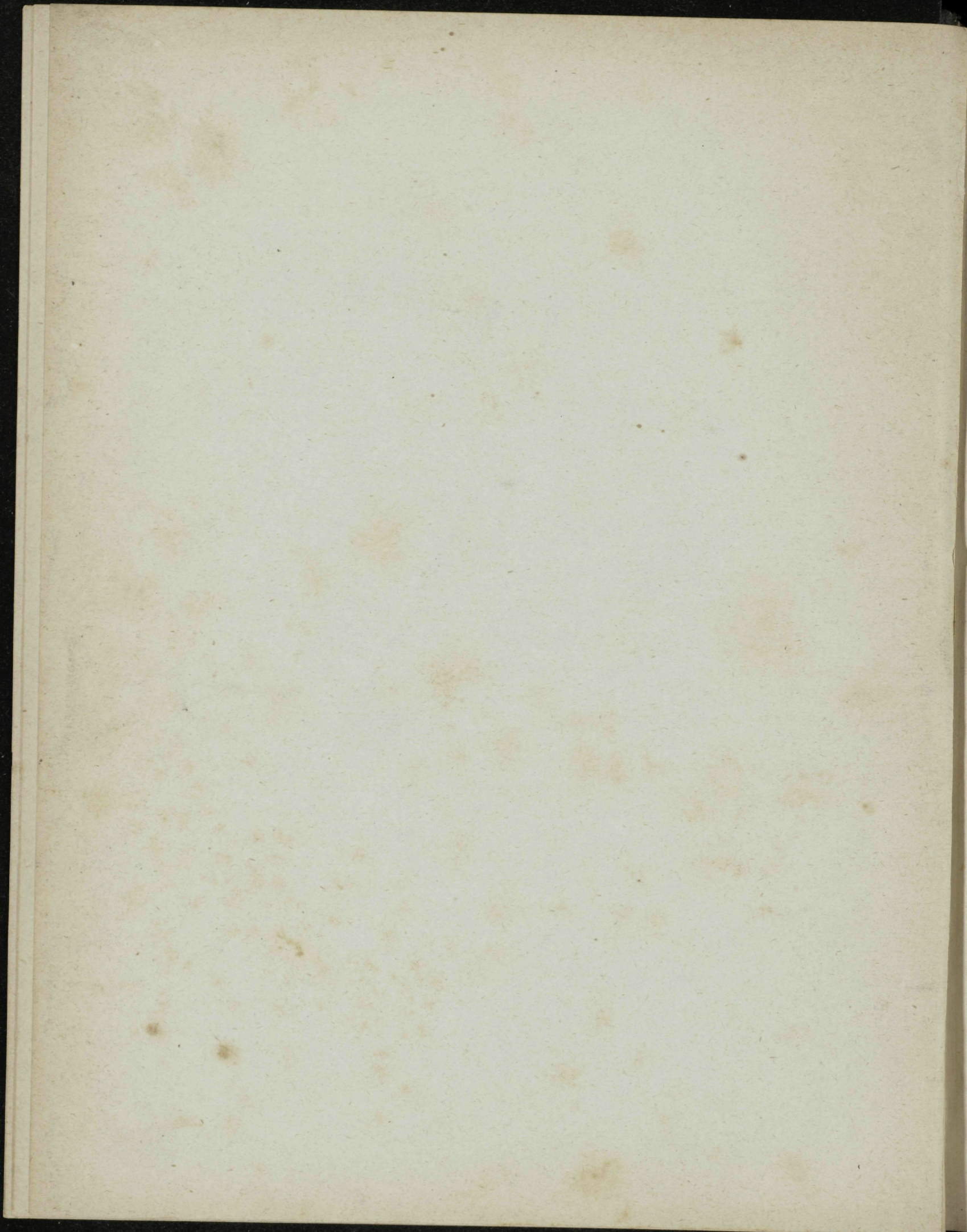
que les projets que nous y formulons ne sont que de simples études, dont le plus grand mérite consistera probablement à fournir des indications précises sur le régime et sur les circonstances locales, propres aux divers atterrages de la côte de Belgique; ils conduiront peut-être de plus habiles que nous à la conception de projets meilleurs, et ne sauraient, en aucun cas, engager en rien la responsabilité de l'Administration à laquelle nous avons l'honneur d'appartenir.

En terminant, nous avons à remercier les ingénieurs chargés du service des ports étrangers que nous avons eu l'occasion de visiter, de l'excellent accueil qu'ils ont bien voulu nous faire. Pendant notre séjour à Nieuport, nous avons pu suivre plus spécialement les travaux remarquables, exécutés pendant ces dernières années au port de Dunkerque. Nous avons eu la chance d'y rencontrer le savant Ingénieur en chef, M. Plocq, ainsi que M. Guillain, l'Ingénieur distingué qui a continué à diriger ces travaux après le départ de M. Plocq, et qui s'est montré pour nous d'une obligeance extrême.

Nous devons d'autre part de précieux renseignements à la bienveillance de M. Michel, Inspecteur Général de la Marine, et de M. Petit, Lieutenant de vaisseau de 1<sup>re</sup> classe, chef du service hydrographique de Belgique. M. Bovie, Ingénieur Principal des Ponts et Chaussées à Ostende, et M. Royers, Ingénieur de la ville d'Anvers, nous ont également fourni d'utiles indications.

Qu'ils veuillent bien accepter ici l'expression de toute notre gratitude.







# PREMIÈRE PARTIE.

---

## CHAPITRE I.

### DES MOUVEMENTS DE LA MER.

---

#### I. — COURANTS GÉNÉRAUX DE L'Océan.

Les courants généraux de l'Océan sont dus à l'action calorifique inégale du soleil aux diverses latitudes du globe terrestre, combinée avec le mouvement de rotation de la Terre.

Les rayons du soleil agissent normalement sur la surface des mers situées dans le voisinage de l'équateur et y enlèvent, par une évaporation extrêmement active, une quantité d'eau supérieure à celle que les pluies y rapportent; dans les latitudes élevées, au contraire, l'apport des neiges, des pluies et des glaces dépasse la perte en vapeur.

L'excès d'évaporation cause dans les mers tropicales un vide immense, qui provoque la précipitation des eaux froides surabondantes des régions polaires et donne naissance, dans l'Atlantique comme dans le Pacifique, à deux grands courants dirigés des pôles vers l'équateur. Ce mouvement des eaux est facilité par la circulation verticale qui se produit dans la zone torride et qui provient de ce que les sels de l'Océan, restés libres par l'évaporation, augmentent la densité des couches superficielles, lesquelles tendent par conséquent à descendre et sont remplacées par des couches inférieures.

Il est à remarquer d'autre part que pour un même degré de salure, les eaux froides des mers polaires sont plus denses que les eaux tièdes du bassin équatorial et qu'en affluant vers celui-ci, elles s'écoulent sous des couches moins lourdes, en restant dans les profondeurs.

Les courants polaires, pendant qu'ils se propagent du nord et du sud vers



les tropiques, subissent constamment une déviation vers l'ouest à cause du mouvement de rotation de la Terre. Celle-ci tourne sur son axe, de l'occident à l'orient, animée d'une vitesse de circulation qui est d'environ 460 mètres par seconde pour un point situé à l'équateur et qui diminue de l'équateur aux pôles avec le rayon de chaque parallèle. Les eaux venant des régions élevées et traversant ainsi à chaque instant des latitudes dont la vitesse autour du globe est plus grande que la leur, éprouvent un retard continu qui devient, par rapport aux rivages de la mer, un mouvement apparent de l'orient à l'occident; et lorsqu'elles viennent se rencontrer obliquement dans la zone tropicale, leur vitesse suivant le méridien s'annule et elles se réunissent en un seul grand courant équatorial dirigé de l'est à l'ouest, en sens inverse du mouvement du globe.

Ce courant équatorial ou de rotation détermine, avec les courants polaires, le mouvement des eaux dans chacun des deux grands Océans. Arrêté dans l'Atlantique par la côte orientale de l'Amérique, dans le Pacifique par l'Asie et les archipels qui relient ce continent à la Nouvelle-Hollande, il vient se heurter contre les rivages et se divise en deux grands remous, qui se propagent l'un vers le nord, l'autre vers le sud, et vont remplir les vides produits par l'afflux polaire. Mais ces couches liquides, subissant également l'influence du mouvement de rotation terrestre, obliquent en même temps constamment vers l'est, soit en sens inverse évidemment de la déviation imprimée aux courants polaires. Il se forme donc dans chaque bassin océanique un double système circulatoire, dont les eaux décrivent un circuit fermé qui s'étend des pôles à l'équateur.

La plus grande masse des eaux du courant équatorial de l'Atlantique, après avoir traversé cet océan de l'est à l'ouest, aborde le continent au nord du cap Saint-Roch, longe la côte septentrionale de l'Amérique du Sud et pénètre dans la mer des Caraïbes pour y former le *Gulf-stream*. L'autre fraction, après avoir longé les côtes du Brésil, passe à l'est des îles Falkland et va fondre les montagnes de glace tombées des terres antarctiques.

Le *Gulf-stream*, ou courant du Golfe, est de tous les fleuves océaniques, le plus important et le mieux étudié; son existence fut reconnue dès l'année 1513 par des navigateurs espagnols; mais ce n'est qu'en 1775 que le célèbre Franklin découvrit, aux eaux de ce courant, la propriété d'accuser au thermomètre une température plus élevée que celle des eaux environnantes et le moyen, par conséquent, d'en suivre le cours à travers l'Atlantique.

Après avoir fait le tour de la mer des Caraïbes et du golfe de Mexique, le *Gulf-stream* contourne la pointe méridionale de la Floride, et s'élance dans l'Océan à travers le détroit de Bahama, avec une vitesse qui mesure d'ordinaire 5 kilo-



mètres et demi par heure, et qui atteint parfois jusqu'à 7 et 8 kilomètres. (Pl. I, fig. 1). Au sortir du canal de la Floride, il se dirige vers le nord-est en longeant à distance la côte des Etats-Unis, s'infléchit à l'est près du banc de Terre-Neuve et s'étale ensuite vers les côtes de l'Europe suivant un immense éventail.

La partie du courant qui passe au nord de la Grande-Bretagne conserve sa direction première; elle baigne les îles Hébrides et Shetland, réchauffe les côtes de la Norwège et s'étend dans les mers polaires jusqu'au Spitzberg.

Au-dessus des îles Açores, il se forme deux courants secondaires; l'un d'eux, connu sous le nom de *courant de Rennell*, pénètre dans le golfe de Gascogne, longe le littoral français et va rejoindre le courant général en contournant la pointe sud-ouest de l'Irlande; l'autre aborde la péninsule ibérique près de Lisbonne et se dirige vers la Méditerranée à travers le détroit de Gibraltar.

L'illustre Maury, en parlant du Gulf-stream dans sa *Géographie de la mer*, s'exprime en ces termes pleins de poésie : « Il est un fleuve dans l'Océan : dans  
« les plus grandes sécheresses jamais il ne tarit; dans les plus grandes crues,  
« jamais il ne déborde. Nulle part sur le globe il n'existe un courant aussi majestueux.  
« Il est plus rapide que l'Amazone, plus impétueux que le Mississipi et la masse  
« de ces deux fleuves ne présente pas la millième partie du volume d'eau qu'il déplace.

« Ses rives et son lit sont des couches d'eau froides entre lesquelles coulent  
« à flots pressés des eaux tièdes, d'un bleu sombre; la ligne de séparation est  
« parfaitement appréciable à la vue. A la hauteur des Carolines, elle est si nette  
« que souvent on peut voir l'avant d'un navire plonger dans les eaux bleues  
« du courant, tandis que l'arrière se trouve encore dans les eaux vertes de l'Océan. »

Le courant du Golfe présente, à son entrée dans l'Océan, une largeur de 59 kilomètres et une profondeur moyenne de 370 mètres. A mesure qu'il se déploie et s'étale sur l'Atlantique, sa profondeur diminue et en arrivant près des côtes de l'Europe, il n'est plus qu'un courant superficiel. Les eaux du Gulf-stream se mélangent à celles qui s'épanchent sans cesse des mers équatoriales vers le pôle boréal; elles ne constituent en réalité qu'un apport relativement faible dans la nappe immense d'eau tiède qui circule dans tout l'Atlantique septentrional, entre le banc de Terre-Neuve, l'Islande et la Scandinavie, sur un espace de plus de 4 millions de kilomètres carrés, et dont on constate l'existence au moyen des instruments de sonde, jusqu'à 1500 mètres en dessous de la surface <sup>(1)</sup>.

En s'échappant du détroit de la Floride, les eaux du courant du Golfe sont échauffées à une température qui n'est pas inférieure à 30 degrés centigrades et

(1) Elisée Reclus. — *La Terre*.



dépasse d'environ 5 degrés la chaleur normale des couches liquides environnantes. A mesure qu'elles se propagent dans l'Océan, leur température décroît, mais fort lentement. Celle-ci est souvent de 27 degrés, en hiver, par le travers du cap Hatteras, excédant de 12 degrés au moins la chaleur du restant de l'Atlantique sous les mêmes latitudes, et lorsque le Gulf-stream atteint la hauteur de Terre-Neuve et vient rencontrer le courant polaire, le calorique de ses eaux mesure encore 20 ou même 25 degrés centigrades.

Pendant que la nappe d'eau chaude s'étend vers le nord, il se produit d'ailleurs, dans toute son épaisseur, un mouvement vertical des molécules liquides; car les couches en contact avec l'atmosphère se refroidissent, descendent à une certaine profondeur et sont remplacées sans cesse par des eaux plus chaudes et plus légères situées immédiatement au-dessous. En traversant le courant dans le sens de sa largeur, on reconnaît ainsi qu'il est formé d'une série de zones parallèles de température inégale.

Le Gulf-stream contient plus de matières salines que les couches froides de l'Océan qui lui servent de lit; le degré de salure de ses eaux est de près de 36 millièmes dans le canal de la Floride; il n'est plus que de 34 millièmes au large du golfe Saint-Laurent, où plusieurs grands fleuves, ainsi que la fonte des glaces et les fortes pluies, ont apporté dans la mer une quantité plus ou moins considérable d'eau douce.

On a évalué à 38 kilomètres par jour la vitesse avec laquelle les eaux du courant du Golfe traversent l'Atlantique pour venir réchauffer les côtes de l'Europe. Elles entraînent dans leur trajet des masses d'air chaud et de vapeur qui produisent à leur rencontre avec les couches d'air froid amenées par le courant polaire, les brouillards épais de Terre-Neuve. Le Gulf-stream sert aussi très-souvent à conduire vers nos régions les ouragans des Antilles; c'est pour ce motif que les Anglais lui ont donné le nom de *Storm-king* ou roi des orages.

La connaissance des grands courants maritimes de l'océan Atlantique a donné des résultats très-importants pour le commerce, en abrégant et en régularisant les voyages de grande navigation.

Le courant de Rennell qui dérive du Gulf-stream et pénètre dans le golfe de Gascogne, se propage à une distance plus ou moins grande des côtes; le long du littoral français, il présente une largeur d'environ 35 kilomètres; sa vitesse moyenne, à 100 kilomètres au large d'Ouessant, est de 0<sup>m</sup>,64 par seconde.

En passant devant l'entrée de la Manche et devant celle du canal Saint-Georges, pour se diriger vers le cap Clear, ce courant doit produire à son tour, dans chacune de ces mers, des épanchements latéraux donnant lieu à des remous



de troisième ordre. Celui qui pénètre dans la Manche y est sans doute peu appréciable, à cause de l'existence des courants de marée; mais il est possible que son effet devienne plus sensible dans le Pas-de-Calais.

## II. — DE LA MARÉE ET DES COURANTS DE MARÉE.

Le phénomène de la marée se manifeste sur les côtes de l'Océan par un mouvement successif et régulier d'ascension et d'abaissement des eaux de la mer.

Pendant six heures environ la mer monte, puis elle descend pendant environ six heures pour recommencer ensuite son oscillation. Ce mouvement d'ascension et d'abaissement des eaux de l'Océan s'explique par la différence d'attraction que la lune et le soleil exercent sur le centre de la Terre et sur les points placés à la surface.

Que l'on s'imagine un instant que la Terre soit entièrement couverte d'une nappe d'eau d'épaisseur uniforme et soumise à la seule influence de la lune. Comme l'attraction réciproque des molécules des corps célestes est en raison inverse du carré des distances, les parties superficielles de la planète tournées vers l'astre, subiront plus fortement cet effet que le noyau central; et celui-ci éprouvera de même une attraction plus prononcée que les couches liquides de l'hémisphère opposé, qui resteront pour ainsi dire en arrière, comme si elles tendaient à s'écarter du centre. Grâce à la mobilité des molécules des eaux de la mer et à la facilité avec laquelle elles obéissent séparément à l'action attractive qui les sollicite, il se formera de chaque côté du globe une intumescence des couches liquides, et la masse des eaux océaniques, considérées dans leur ensemble, prendra la forme d'un ellipsoïde ayant son grand axe dirigé vers la lune. (Pl. I, fig. 2).

Lorsque la lune est dans le plan de l'équateur, la rotation de la Terre amènera successivement les deux intumescences sur tous les points de ce grand cercle, et dans toute l'étendue des mers il se produira une double oscillation dont la durée moyenne sera de  $24^h 50^m 28^s$ , correspondant exactement au jour lunaire, c'est-à-dire à l'intervalle qui sépare deux passages consécutifs de la lune à un même méridien. Si la lune n'est pas dans le plan de l'équateur, les phénomènes resteront analogues, mais les sommets des deux masses d'eau proéminentes parcourront dans ce cas deux parallèles équidistants de l'équateur et dont les latitudes seront égales à la déclinaison de la lune.

Le soleil produit sur les eaux de la mer un effet semblable à celui de la lune; il fait prendre à leur surface la forme d'un ellipsoïde allongé dans le sens de la droite qui joint le centre de la Terre à celui du soleil, mais les deux intu-



mescences qui en résultent sont beaucoup moins élevées; car la masse de cet astre, tout en étant 26 550 000 fois environ plus grande que celle de la lune, est 400 fois plus éloignée de notre planète et elle n'exerce par conséquent sur les diverses parties de cette dernière, une différence d'attraction aussi prononcée. En recherchant le rapport entre les forces théoriques qui donnent respectivement naissance à la marée solaire et à la marée lunaire, on trouve que la première est deux et demi fois moindre que la seconde (<sup>1</sup>).

Par suite de la grande mobilité des eaux, les deux vagues marées se combinent et marchent ensemble autour du globe pour produire la marée réelle.

Lors des syzygies, quand le centre de la Terre se trouve sur une même ligne droite avec les centres de la lune et du soleil, les effets d'attraction des deux corps célestes sur les molécules liquides de l'Océan s'ajoutent et forment les *marées de vive eau*.

L'amplitude des marées de vive eau varie elle-même avec les distances de la lune et du soleil à la Terre; elle est par conséquent plus prononcée quand la lune est périgée, et atteint son maximum aux équinoxes.

En dehors des époques de syzygies, les forces attractives du soleil et de la lune n'agissent plus dans le même sens. Elles se contrarient surtout lors des quadratures, quand les deux astres sont à 90° l'un de l'autre et elles donnent alors lieu aux marées de morte eau. La hauteur de ces marées varie également avec la position du soleil et de la lune par rapport à la Terre.

Les principaux caractères de la marée sont d'accord, on le voit, avec les

(<sup>1</sup>) L'attraction de la lune sur la Terre, celle-ci étant supposée entièrement couverte d'eau, peut se représenter, d'après la loi de Newton, par  $\frac{f m T}{d^2}$ ;  $f$  étant la force attractive entre deux unités de masse, placées à l'unité de distance,  $m$  la masse de la lune,  $T$  celle de la Terre et  $d$  la distance entre le centre de la Terre et celui de la lune. Cette attraction produira sur le point C une accélération  $\frac{f m}{d^2}$  et lui fera subir au bout d'un temps  $t$  un déplacement  $\frac{f m t^2}{2 d^2}$ ; le déplacement produit par l'attraction de la lune sur le point A sera  $\frac{f m t^2}{2(d-r)^2}$ ,  $r$  étant le rayon de la Terre. La quantité dont le point

A s'éloignera du point C sera donc proportionnelle à  $f m \left\{ \frac{1}{(d-r)^2} - \frac{1}{d^2} \right\} = \frac{2 f m r}{d^3} \cdot \frac{1 - \frac{r}{2d}}{\left(1 - \frac{r}{d}\right)^2}$ , ou à

$\frac{2 f m r}{d^3}$  puisque  $\frac{r}{d}$  est négligeable. La hauteur de l'intumescence produite en B est proportionnelle à  $f m \left\{ \frac{1}{d^2} - \frac{1}{(d+r)^2} \right\}$ , se réduisant à la même expression  $\frac{2 f m r}{d^3}$ .

On trouvera de même que l'intumescence résultant de l'attraction du soleil est proportionnelle à  $\frac{2 f M r}{D^3}$ ,  $M$  étant la masse du soleil et  $D$  la distance de cet astre au centre de la Terre. Le rapport de la marée solaire à la marée lunaire est par conséquent égal à  $\frac{M d^3}{m D^3}$  ou à 0, 41, puisque  $M = 26\ 550\ 000\ m$  et  $D = 400\ d$ .



résultats de la théorie que nous venons de mentionner, mais il existe de nombreuses divergences quant aux détails. Ainsi, les oscillations de la mer sont toujours en retard sur le passage de la lune au méridien du point d'observation. Ce retard varie avec les lieux et avec la position des astres. Sur nos côtes, il est tel que la marée observée ne correspond pas même au passage de la lune au méridien qui l'a précédée; c'est ce qu'on reconnaît aux syzygies, puisque la plus haute mer n'arrive qu'un jour et demi après celui de la nouvelle ou de la pleine lune.

L'amplitude des marées est aussi beaucoup plus grande que celle donnée par le calcul et elle est très-variable, même dans des ports rapprochés. Ensuite les oscillations, au lieu d'atteindre leur maximum dans les régions tropicales aux environs de l'équateur, sont au contraire plus accentuées vers notre latitude.

Cette discordance entre la théorie et l'observation provient d'abord de ce que la Terre n'est pas entièrement et uniformément couverte par les eaux, ainsi que nous l'avions supposé. Dans cette hypothèse, le sommet de l'intumescence qui produit les marées devrait suivre la lune dans ses mouvements et par conséquent se propager toujours de l'est à l'ouest; c'est ce qui a lieu dans les mers australes qui font le tour du globe sans interruption; mais il n'en est pas de même dans les deux grands Océans.

D'après une théorie due au physicien anglais Whewell, les actions attractives de la lune et du soleil s'exerceraient avec toute leur puissance dans le vaste réservoir océanique qui recouvre presque toute la surface de l'hémisphère austral et auquel ce savant a donné le nom de *berceau des marées*. C'est de là que partirait l'intumescence-mère qui se propage successivement dans tous les Océans, de même qu'une onde soulevée à la surface d'une eau tranquille se transmet de proche en proche et imprime à toute la nappe liquide un mouvement d'oscillation.

Dans toute l'étendue du bassin Antarctique, et même dans le Pacifique central et dans la mer des Indes, la vague marée suivrait de l'est à l'ouest la marche apparente de la lune. Après avoir heurté les rivages de l'Australie, elle viendrait frapper, environ treize ou quatorze heures après, la côte orientale de l'Afrique pour atteindre sept ou huit heures plus tard le littoral de l'Amérique du Sud, depuis la Terre-de-Feu jusqu'à l'estuaire de la Plata (Pl. I, fig. 3).

A partir de ce moment, l'ondulation de la marée, arrêtée par le continent américain, changerait de direction et se développerait dans l'Atlantique, du sud au nord; elle atteindrait à peu près simultanément la baie de Fundy, sur la côte est de l'Amérique septentrionale, et la mer d'Irlande, après avoir parcouru en quinze heures environ la distance qui sépare le cap de Bonne-Espérance de l'entrée de la Manche.



Cette théorie a été longtemps considérée comme exacte; mais les travaux de l'amiral Fitz-Roy, de Delaunay et de Chazallon ont prouvé qu'elle est en contradiction avec certains faits de l'observation. Ainsi, dans l'hypothèse de Whewell, c'est du sud au nord que la vague marée devrait se propager sur les côtes du Brésil, tandis que c'est l'inverse qui a lieu; puis on ne comprend pas que l'ondulation soulevée dans les mers australes, et dont l'amplitude moyenne ne paraît pas atteindre plus d'un mètre, puisse parcourir la distance énorme qui sépare son lieu de naissance des côtes de l'Atlantique et s'y élever à des hauteurs relativement considérables.

Il est plus rationnel d'admettre qu'il se forme dans chaque bassin océanique une intumescence-mère, partant du centre de ce bassin et se propageant dans tous les sens pour continuer ensuite son mouvement le long de nos côtes. Un fait qui confirme cette opinion, c'est que les grands réservoirs de l'Océan sont séparés par de larges zones, où l'oscillation de la marée est extrêmement faible. Pareille zone se rencontre dans la direction de la ligne qui joint le cap Saint-Roch au cap Vert; elle correspond sans doute à l'étendue de la nappe liquide où viennent s'éteindre les ondulations soulevées respectivement au milieu de l'Atlantique septentrional et de l'Atlantique méridional.

Les ondes marées que l'on observe le long de nos côtes ne sont donc que des ondes dérivées de l'ondulation première produite au centre de chaque grand Océan par l'influence directe des astres. Celle-ci imprime aux marées leur caractère de périodicité, mais les ondes dérivées, qui se propagent en vertu des lois du mouvement ondulatoire, subissent des retards et des variations de direction provenant principalement de l'existence des continents et des différences dans la profondeur des mers (1).

Il existe une autre cause du retard de la marée sur le passage de la lune au méridien; cette cause est générale et résulte de ce que les eaux, après avoir subi l'action des forces attractives auxquelles elles sont soumises, continuent à s'élever en vertu de la vitesse acquise; elles n'atteignent leur hauteur maximum qu'au moment où les résistances passives ont détruit cette vitesse, ce qui ne peut avoir lieu que quelque temps après que l'attraction a agi avec sa plus grande énergie. Le retard de la marée doit par conséquent se produire dans tous les points du globe, ainsi que les observations les plus récentes semblent l'avoir établi.

Dans les mers intérieures, telles que la Baltique et la Méditerranée, les eaux

(1) Le principe de la périodicité qui caractérise le phénomène de la marée, a été énoncé par La Place, dans son *traité de Mécanique céleste*, en ces termes : L'état d'un système de corps, dans lequel les conditions primitives du mouvement ont disparu, par les résistances que ce mouvement éprouve, est périodique comme les forces qui animent le système.



subissent également les attractions de la lune et du soleil comme celles de l'Océan, mais elles n'occupent pas une étendue assez vaste pour permettre le développement de l'onde, de sorte que les oscillations qui en résultent ne sont guère appréciables; celles qu'on y observe et qui n'ont en général que quelques centimètres d'amplitude, sont en réalité des dérivations de la grande onde de l'Océan, qui se propagent à travers le détroit par lequel celui-ci communique avec ces mers.

Les ondes marées, pendant qu'elles circulent dans les mers profondes, ont une longueur énorme. Dans l'Atlantique, où la profondeur varie moyennement de 3000 à 4000 mètres, cette longueur est d'environ 8 millions de mètres; elle se réduit à 900 000 mètres dans la Manche, dont la profondeur n'est que de 40 à 50 mètres. Si l'on assimile le mouvement des ondes marées à celui des ondes d'oscillation produites par une force verticale agissant périodiquement sur une nappe liquide, on doit conclure de ce qui précède, que l'influence de la marée se fait sentir dans toute la masse des eaux de la mer.

Pareilles ondulations, en se transmettant à des couches de plus en plus éloignées de la surface, diminuent en effet d'amplitude suivant une loi exponentielle très-rapide, mais qui l'est d'autant moins que l'onde a plus de longueur. M. de Bénazé, en s'occupant de l'étude de *la houle*, c'est-à-dire des vagues qui sont soulevées en mer par le vent et qui continuent à se propager avec une très-grande régularité jusqu'au rivage après que le vent a cessé, a calculé que l'amplitude de ces ondulations, observée à une profondeur égale à la moitié de leur longueur, est encore  $1/23$  de la demi-hauteur qu'elles présentent à la surface libre. Or il résulte des chiffres cités plus haut, que partout la profondeur de l'Océan ne constitue qu'une fraction très-faible de la longueur des ondes. Celles-ci doivent par conséquent transmettre partiellement leur mouvement d'oscillation jusqu'au fond de la mer<sup>(1)</sup>.

Lorsque des ondes d'oscillation périodiques<sup>(2)</sup> prennent naissance dans une nappe liquide dont la profondeur est moindre que la distance verticale, mesurée à partir de la surface libre, à laquelle l'agitation produite par le passage des ondes cesse d'être appréciable, et qu'elles ont en outre une très-longue durée, comme c'est le cas pour les ondulations de la marée, leur vitesse de propagation dépend

(1) Comoy. *Étude pratique sur les marées fluviales*.

(2) On appelle *ondes d'oscillation ordinaires*, celles qui se forment toutes les fois que les eaux sont sollicitées par une force verticale; elles se succèdent toujours en plus ou moins grand nombre et les sommets et les creux sont situés respectivement au-dessus et au-dessous du niveau normal de de l'eau. Les ondes d'oscillation sont dites *périodiques*, lorsqu'elles résultent de plusieurs actions donnant lieu chacune à une onde, mais s'exerçant périodiquement, de manière que les diverses ondes se succèdent régulièrement. Les ondes marées peuvent être assimilées à des ondes d'oscillation périodiques.



de la profondeur de la nappe d'eau. On peut admettre dans ce cas la formule  $V = \sqrt{gH}$ , dans laquelle H représente ce dernier élément et  $g$  la gravité, et que M. Boussinesq a déduite d'une équation transcendante en V, applicable en général au mouvement des ondes périodiques dans des eaux de faible profondeur.

Cette formule, donnée directement par Lagrange pour de petites ondulations se propageant dans une eau de profondeur uniforme, concorde avec les observations qui ont été faites sur la propagation de l'onde marée. On a constaté en effet que la vitesse de celle-ci est de 176 mètres par seconde entre le cap de Bonne-Espérance et Ouessant, et de 21 mètres entre Ouessant et Boulogne. Or, en remplaçant successivement dans la formule précitée, V par ces deux valeurs, on trouve pour les profondeurs de la mer en ces endroits, respectivement 3160 mètres et 45 mètres, chiffres qui diffèrent peu des moyennes obtenues par les sondages.

Si l'on représente en plan et pour toutes les heures de la journée, les lieux géométriques des points de la mer où la marée haute se produit en même temps, on obtient une série de courbes appelées *courbes cotidales*, qui correspondent aux positions successives de l'arête supérieure de l'onde marée.

L'aspect général de ces courbes, telles qu'elles ont été dressées d'après les renseignements recueillis par MM. Lubbock et Whewell, fait voir que la vitesse de propagation de la vague marée est plus grande au milieu des mers que près des côtes, ce qui prouve encore que cette vitesse diminue avec la profondeur de l'Océan. Celle-ci est d'ailleurs partout insuffisante pour permettre à l'onde marée de suivre le mouvement des astres, en admettant qu'il n'existât aucun continent pour en interrompre la marche régulière.

Le temps qui s'écoule entre le passage de la lune au méridien et l'instant de la pleine mer qui suit ce passage, variable en chaque lieu, avons-nous vu, suivant la position des astres, est cependant toujours le même aux jours de syzygies équinoxiales où la lune se trouve à ses distances moyennes de la Terre. C'est ce retard que l'on désigne sous le nom d'*établissement du port*, et que l'on détermine, dans les divers pays, pour les principaux points du littoral.

Comme il se produit deux oscillations complètes de la marée dans un jour lunaire, le temps que dure une oscillation, c'est-à-dire l'intervalle entre deux basses mers consécutives, est de  $12^h 25^m$  en moyenne. Ce temps, qui est inférieur de quelques minutes à la moyenne en vive eau et qui dépasse cette moyenne de quelques minutes en morte eau, ne change pas dans le parcours d'une même onde; mais il n'est pas également partagé par l'instant de la haute mer, et la durée relative de la montée et de la descente de la marée varie d'un point à un autre.



La hauteur totale des marées, mesurée depuis le niveau de la basse mer jusqu'à celui de la pleine mer, et que La Place, dans ses calculs, considère comme étant l'excès de la demi-somme des deux marées d'un jour sur la basse mer intermédiaire, acquiert des valeurs différentes, pour une même onde, aux divers points de la mer, tant au large que le long des côtes.

Au fond des baies resserrées, l'amplitude des oscillations devient généralement considérable. Dans le port de Panama elle atteint plus de 7 mètres, tandis qu'à une distance de 60 kilomètres, sur l'autre rivage de l'isthme, le flux et le reflux sont à peine appréciables. Au fond de la baie de Fundy, sur les côtes de la Nouvelle-Ecosse, l'amplitude de la marée est de 21 mètres, alors qu'elle ne mesure que 2<sup>m</sup>70 à l'entrée de la baie. A l'embouchure de la Severn, sur la côte est d'Angleterre, et dans la grande baie du mont Saint-Michel, sur le littoral français, la hauteur des pleines mers de vive eau est de 14 à 15 mètres.

La surélévation du flux aux endroits où le rivage présente des parties rentrantes disposées en entonnoir, s'explique par le fait que la vague marée, en pénétrant dans ces enfoncements de la côte, y éprouve une diminution de vitesse produisant en même temps un accroissement de hauteur; mais elle peut résulter aussi d'une autre cause non moins importante. Certaines mers sont parcourues en effet par deux ondes dérivées allant à l'encontre l'une de l'autre et qui, en s'entrecroisant, donnent lieu à un phénomène d'interférence analogue à celui qui se produit dans les vibrations sonores ou lumineuses. La marée n'en conserve pas moins tous les caractères du mouvement ondulatoire, mais l'amplitude de son oscillation dépend évidemment, en chaque point, des conditions suivant lesquelles les deux ondes s'y rencontrent.

Lorsque les deux vagues se croisent à l'instant qui correspond pour chacune d'elles à l'heure du plein, leurs effets s'ajoutent et elles donnent naissance à des marées très-prononcées; si au contraire le sommet de l'une des ondes vient se placer au-dessus du creux de l'autre, les mouvements de l'eau dans le sens vertical tendent à se neutraliser et se détruisent dans certains cas entièrement. Enfin deux ondes peuvent se rencontrer dans des conditions intermédiaires, et il arrive qu'elles se présentent l'une par rapport à l'autre de façon à produire des *marées à deux eaux*, la montée passant successivement par deux hauteurs maxima pendant une même marée.

Les hauteurs d'une marée, observées en des points différents de la mer, conservent cependant entre elles certains rapports qui dépendent de la position des astres dans leur orbite et du mouvement de rotation de la Terre, et qui ne changent pas, quelle que soit l'amplitude de la marée. C'est ce qui a permis



de déterminer, pour chaque port, un chiffre de hauteur qu'il suffit de multiplier par un coefficient exprimant d'une manière générale l'importance de la marée à un jour donné, pour avoir la hauteur que la marée atteindra ce jour dans le port que l'on considère.

Le chiffre que l'on adopte à cet effet est la moitié de la moyenne amplitude totale des marées qui se produisent aux syzygies d'équinoxe, quand les astres se trouvent dans le plan de l'équateur, à leurs distances moyennes de la Terre et passent ensemble au méridien. Il est désigné sous le nom d'*unité de hauteur* et se déduit d'un grand nombre d'observations des hautes et des basses mers équinoxiales.

L'*Annuaire des marées* donne du reste, tous les ans, les coefficients représentant l'importance des marées pour chaque jour de l'année.

Si l'on représente graphiquement le mouvement d'oscillation de la marée, dans un lieu donné, en prenant le temps pour abscisses et les hauteurs de la mer pour ordonnées, on obtient la *courbe locale* de la marée de ce lieu. Cette courbe se rapproche beaucoup d'une sinusoïde régulière, lorsque la marée se propage au milieu d'une mer libre de profondeur sensiblement constante (Pl. II, fig. 1.); son équation a été établie par La Place dans sa *Mécanique céleste* et peut se mettre sous la forme simple :

$$y = A \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

dans laquelle  $y$  représente la dénivellation positive ou négative au-dessus du niveau moyen de la mer,  $A$  la demi-amplitude totale de la marée,  $t$  le temps compté à partir de la basse mer,  $T$  la durée totale de la marée.

Mais les courbes locales que l'on observe dans nos ports, tout en conservant dans la plupart des cas, une forme sinusoïdale, s'écartent plus ou moins de la forme théorique qui correspond à cette équation, par suite de l'influence que la configuration particulière de chaque rivage exerce sur la durée respective de la montée et de la descente des eaux. M. Chazallon est cependant parvenu à établir, pour un port déterminé, une équation donnant avec beaucoup d'exactitude la forme que la courbe de marée y présente. Pour y arriver, il a mis l'équation de La Place sous une autre forme, en y ajoutant en outre un certain nombre de termes, qui se rapportent également à des courbes sinusoïdes; la combinaison des ordonnées correspondant à ces expressions, dont les coefficients sont déterminés par l'expérience, donne la courbe définitive.

L'ondulation de la marée, en parcourant l'étendue des mers, présente à chaque instant une allure d'autant plus régulière que la profondeur de l'eau, dans la zone qui correspond à la longueur de l'onde à l'instant que l'on considère, est



plus uniforme. Coupée par un plan vertical mené parallèlement à sa direction, elle donne pour intersection à la surface une ligne qu'on appelle *courbe instantanée* de la marée et qui généralement affecte aussi la forme sinusoïdale (Pl. II, fig. 2).

Dans une même marée, les eaux s'élèvent et s'abaissent d'une quantité peu différente par rapport à une certaine surface d'équilibre ou niveau moyen, qui reste sensiblement le même, en chaque lieu, pour toutes les marées, mais qui varie d'un lieu à un autre, tout en restant compris entre des limites relativement rapprochées.

La Place adoptait pour niveau moyen de la mer le milieu de la distance verticale qui sépare la haute et la basse mer. Mais d'après la définition qui est plus généralement admise aujourd'hui, le niveau moyen de la mer correspond au plan pour lequel, dans une même oscillation de la marée, les volumes d'eau situés respectivement au-dessus et en dessous de sa surface aux instants de la haute et de la basse mer, sont égaux. La position de ce plan se détermine, pour chaque port, en traçant sur la courbe de marée locale une ligne horizontale comprenant entre elle et les parties supérieure et inférieure de la courbe, des surfaces équivalentes.

Les ondes marées, comme les ondes en général, se propagent par communication de mouvement, ce qui veut dire que les molécules d'eau s'élèvent et s'abaissent au passage de chaque ondulation sans participer d'aucune manière à la vitesse de propagation de celle-ci. Mais cette transmission de mouvement ne peut s'effectuer cependant sans donner lieu à des transports de liquide dans le sens horizontal, résultant de ce que les quantités d'eau dont chaque onde diminue aux endroits où il y a mer descendante, se répartissent de manière à produire, par un déplacement des molécules s'opérant de proche en proche, les marées montantes voisines. Ce sont ces transports de liquide qui constituent la cause déterminante des *courants de marée*.

M. Comoy, dans une étude très-remarquable que nous avons déjà eu l'occasion de citer, examine de la manière suivante les conditions qui caractérisent ce mouvement particulier des molécules de l'eau dans les phénomènes ondulatoires de la marée.

Il représente par  $DSD'S'$  la courbe instantanée de deux ondes consécutives observées à un moment donné et par  $dsd's'$  la position que cette courbe occupe au bout d'un court intervalle de temps  $t$ , NM étant le niveau moyen de la mer (Pl. II, fig. 3). L'auteur considère d'ailleurs la courbe instantanée de l'onde marée comme une sinusoïde régulière, hypothèse qui ne s'écarte pas beaucoup de la réalité, surtout pour les ondes qui se propagent à une certaine distance



au large; il néglige aussi les variations assez peu prononcées que l'on observe dans la hauteur et la durée de deux marées consécutives. D'un autre côté, comme les ondulations de la marée ont toujours une largeur considérable et qui ne varie pas sensiblement dans le temps très-court pendant lequel la courbe  $DSD'S'$  prend la position  $dsd's'$ , il suffit d'examiner les changements de volume qui se produisent pour les différentes parties de l'onde, entre deux sections menées verticalement à l'unité de distance dans le sens de la marche de la marée.

Cela étant, il doit y avoir égalité entre le volume de liquide correspondant à l'aire  $IB'L'b'$ , et celui correspondant à l'aire  $IALa$ , puisque dans tout mouvement ondulatoire, le volume dont l'onde s'accroît d'un côté, est égal à celui dont elle diminue de l'autre, abstraction faite de l'affaiblissement que son intumescence subit pendant la propagation et qui est extrêmement petit pour un très-court intervalle de temps. Mais ce n'est pas l'eau perdue à la marée descendante qui vient elle-même se placer dans la zone de la mer occupée par la marée montante; le gonflement de l'onde à l'endroit de cette zone se forme au moyen des molécules liquides les plus rapprochées, lesquelles sont remplacées à leur tour par les molécules voisines et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à l'endroit où la mer est baissante.

Pour établir de quelle manière s'opère cet échange de liquide, M. Comoy s'appuie sur *la loi de la moindre action*, et dit :

« Le volume d'eau qui est échangé de proche en proche est toujours le même dans un temps donné, quelque hypothèse que l'on fasse sur son déplacement. Dès lors la question du volume n'exerce pas d'influence sur la quotité d'action produite. Par suite, le minimum d'action sera donné par la disposition qui assurera au volume déplacé la moindre longueur possible de transport.

« Cette condition ne peut être satisfaite que si le volume d'eau expulsé du côté du perdant, se partage en deux parties s'écoulant l'une dans le sens de la marche de l'onde pour participer à l'accroissement du gagnant <sup>(1)</sup> de la même onde, et l'autre en sens contraire pour contribuer à former l'accroissement du gagnant de l'onde suivante.

« Par ce mode d'écoulement, en effet, la distance que parcourt le liquide est évidemment moindre que si toute la diminution du perdant s'écoulait dans le sens de la propagation pour former tout l'accroissement du gagnant de la même onde. »

Comme conséquence de cette théorie, l'auteur fait ressortir, ainsi qu'on peut

<sup>(1)</sup> Les expressions « gagnant » et « perdant » signifient respectivement marée montante et marée descendante.



le reconnaître aisément, que dans l'hypothèse admise d'une onde sinusoïdale régulière, il faut, pour avoir la distance de transport des volumes liquides déplacés la moindre possible, que la ligne qui détermine dans les courbes instantanées de la marée la position du plan de séparation des eaux provenant du perdant d'une onde et s'écoulant en sens contraire, soit placé au niveau moyen de la mer; les renversements des courants résultant du déplacement de ces eaux correspondent donc au même niveau moyen, ce qui revient à dire qu'ils doivent coïncider en chaque point avec la mi-marée.

Revenant ensuite aux ondes marées réelles, dont la forme s'écarte toujours de la courbe sinusoïdale régulière, il fait observer que pour ces ondes, les surfaces qui, dans la fig. 3, pl. II, correspondent aux volumes dont une ondulation s'est accrue du côté de la mer montante et a diminué du côté de la mer baissante, ne présentent pas cette régularité; mais que, d'après les conditions nécessaires à la propagation des ondulations, ces aires doivent être équivalentes et que l'échange des eaux dont elles indiquent la position dans les courbes instantanées de la marée, doivent toujours se faire de manière à produire le minimum d'action. C'est ce qui se réalise si la surface déterminant la diminution de volume du perdant se partage en deux parties équivalentes, dont l'une correspondrait à la partie supérieure de l'accroissement de la même onde du côté où elle produit la mer montante, et l'autre à la partie inférieure de l'accroissement nécessaire à la marée montante de l'onde qui suit; dans ces conditions les renversements des courants ont lieu soit avant, soit après la mi-marée.

« Cependant, ajoute M. Comoy, de quelque manière que le renversement  
« des courants dirigés en sens inverse du mouvement de l'onde, se place par  
« rapport au niveau moyen de la mer, il arrive que le renversement des courants  
« dirigés dans le même sens que l'onde, le suit dans ses écarts, mais en sens  
« contraire; de manière que les temps qui séparent, en chaque lieu, les ren-  
« versements consécutifs des courants soient à peu près égaux à la moitié de  
« la durée totale de la marée. C'est là un fait naturel que l'on a constaté même  
« dans des mers resserrées et peu profondes.

« Pour que ce résultat se produise, il est nécessaire que les surfaces de  
« l'accroissement du gagnant et de la diminution du perdant présentent des  
« dispositions inverses, c'est-à-dire que si l'une d'elles a un excès de largeur  
« dans sa partie inférieure, l'autre ait un pareil excès de largeur dans sa partie  
« supérieure, afin que le partage de ces surfaces en deux parties d'aires égales  
« se fasse pour l'une d'un côté et pour l'autre de l'autre côté du niveau moyen  
« de la mer ».



Comme exemples de la disposition à laquelle il conclut, M. Comoy donne les formes sinusoïdales reproduites pl. II, fig. 4 et 5.

Il importe de remarquer, ainsi que l'auteur le dit d'ailleurs, que les considérations qui précèdent ne résultent point d'un examen analytique du phénomène de la marée; elles ne constituent que des moyens approximatifs d'appréciation, mais qui ont cet avantage de donner une idée claire du régime des courants que l'on observe au large des côtes et dont nous allons résumer les caractères principaux.

Les courants de marée se dirigent, en chaque point de la mer, alternativement dans le sens de la marche de l'onde et en sens contraire.

On appelle les premiers *courants de flot* et les seconds *courants de jusant*.

Les courants de flot et de jusant ont ensemble, en chaque lieu, une durée à peu près égale à celle de la marée qui les produit, et ils se partagent généralement cette durée dans un rapport se rapprochant de celui qui existe entre les intervalles de temps que les eaux mettent successivement à monter et à descendre. Mais les instants où les courants changent de direction, ne coïncident pas avec ceux de la haute et de la basse mer. Le courant de flot continue quelque temps après la pleine mer, quoique la hauteur des eaux diminue; de même le courant de jusant continue quelque temps après la basse mer, quoique la hauteur des eaux augmente.

On nomme *étale de flot* la molle eau correspondant à l'état de la marée qui se produit entre la fin du flot et le commencement du jusant, et *étale de jusant*, la molle eau correspondant à l'état de la marée qui se produit entre la fin du jusant et le commencement du flot.

Il résulte de ce qui précède que la surface de la mer, observée à un même instant donné, présente une suite non interrompue de zones, occupées alternativement par les courants de flot et de jusant et séparées par les lignes qui correspondent aux étales de ces courants.

Dans les mers ouvertes, de profondeur peu variable, les lignes des étales se placent de façon à diviser à peu près également la distance qui sépare les arêtes de pleine et de basse mer consécutives; mais dans la plupart des cas, elles divisent la distance comprise entre ces dernières en deux parties de longueur plus ou moins différente, tout en restant sensiblement parallèles à ces arêtes.

La longueur totale de deux zones consécutives, l'une de flot, l'autre de jusant, est à peu près égale à celle de l'onde marée qui leur donne naissance.

Les zones de flot et de jusant se déplacent constamment dans le sens de la marche de l'onde et, comme la situation des deux courants par rapport aux



positions successives de la pleine et de la basse mer, change fort peu, la vitesse de ce déplacement est aussi très-peu différente de celle de l'onde elle-même; les étales des courants qui limitent les zones progressent évidemment dans la direction des courants de flot et elles se succèdent périodiquement, en chaque lieu, comme les hautes et les basses mers.

Mais les molécules liquides soumises à l'action des courants de marée ne participent pas à la vitesse de propagation des zones de flot et de jusan; la vitesse dont elles sont animées, est beaucoup plus petite et il est évident dès lors qu'elles ne peuvent appartenir au même courant que pendant un temps plus ou moins long et qui varie, dans chaque cas, avec les circonstances particulières du mouvement des ondes marées que l'on considère. Les molécules qui passent ainsi d'un courant dans un autre, par l'effet du déplacement plus rapide de la ligne des étales limitant d'un côté la zone où elles ont été temporairement engagées, sont remplacées sans cesse par de nouvelles molécules qui viennent se ranger à l'autre extrémité de la même zone, en raison du déplacement de la ligne des étales formant la limite opposée de celle-ci.

Si l'on se rappelle que le mouvement des ondes marées se fait sentir jusqu'au fond de la mer, on comprend aussi que les courants auxquels elles donnent lieu, doivent se produire dans toute l'épaisseur de la nappe marine; mais leur vitesse varie pour des points situés à des distances différentes de la surface.

En désignant par  $v$  la vitesse moyenne du courant de flot dans l'étendue d'une même section transversale par rapport à sa direction, et par  $V$  la vitesse de propagation de l'onde marée, M. Comoy obtient, par des considérations géométriques analogues à celles que nous avons reproduites plus haut, la proportion  $\frac{v}{V} = \frac{h}{H}$ , dans laquelle  $h$  et  $H$  représentent respectivement la demi-hauteur de l'onde et la profondeur de la mer.

Il fait voir d'autre part qu'on peut admettre que  $h\sqrt{H} = \text{constante}^{(1)}$ , c'est-à-dire qu'en chaque lieu la hauteur de la marée serait inversement proportionnelle à la racine carrée de  $H$ .

Si l'on remplace dans l'équation  $\frac{v}{V} = \frac{h}{H}$ ,  $V$  par sa valeur  $\sqrt{gH}$ , on obtient  $v = \frac{h\sqrt{g}}{\sqrt{H}}$ ; et comme  $h$  et  $H$  varient en sens contraire l'un de l'autre,

(1) D'après l'auteur, cette constante, qui devrait être déterminée par l'observation en un lieu où la propagation des ondes marées se fait aussi régulièrement que possible, est différente pour chaque mer, dans les mêmes circonstances astronomiques et les mêmes conditions de profondeur. Elle affecterait en outre une valeur particulière dans la même mer pour les marées de vive eau et pour celles de morte eau.



il en résulte que la vitesse du courant de flot décroît très-rapidement quand  $H$  augmente. Les courants de marée doivent donc avoir une vitesse extrêmement faible au-dessus des grandes profondeurs de l'Atlantique et n'acquérir de l'intensité qu'à l'approche des continents et dans les mers resserrées, telles que la Manche et le canal Saint-Georges, où les fonds sous-marins se relèvent et réduisent considérablement l'épaisseur de la nappe d'eau. Ce résultat s'accorde avec les faits observés.

Un point important à noter, c'est que les courants de marée, à l'exception de ceux qu'on rencontre à l'entrée des baies et des golfes dont le remplissage et le vidange donnent lieu à des phénomènes d'écoulement, ne se produisent pas en raison des pentes variables que les ondes établissent à la surface des eaux de la mer, mais résultent exclusivement des transports de liquide qui s'opèrent de proche en proche pour assurer la continuité du mouvement ondulatoire.

L'ingénieur hydrographe Keller, rectifiant sous ce rapport la théorie de M. Beechey, qui attribuait les courants de marée à la pente des dénivellations de la surface des eaux et leur durée aux vitesses acquises, fait remarquer que dans la mer du Nord, les eaux sont basses à Yarmouth quand elles sont hautes à Brielle; or si ces courants étaient engendrés par la pente des dénivellations de la surface, ils devraient dans cette région osciller constamment sur la ligne qui relie ces points, dont la distance n'est que de 100 milles, tandis qu'ils se propagent au contraire dans une direction transversale à cette ligne <sup>(1)</sup>.

Une autre preuve non moins concluante est citée dans l'étude de M. Comoy. Elle consiste dans ce fait que les courants de marée, outre qu'ils ne sont pas toujours dirigés dans le sens de la pente superficielle, offrent des vitesses trop grandes pour être le résultat de celle-ci. Dans la Manche ces vitesses atteignent jusqu'à 1<sup>m</sup>80 et 2<sup>m</sup>00 par seconde, tandis que la pente de la surface de l'onde n'y dépasse pas un centième de millimètre par mètre.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des ondes marées qui se propagent au large et dans des conditions normales; nous savons que les courants auxquels ces ondes donnent lieu, sont généralement alternatifs. Mais dans les mers étroites et à proximité des côtes, il arrive que les courants qui se succèdent en chaque point, deviennent giratoires, c'est-à-dire qu'ils changent constamment de direction, de manière à décrire un parcours orbitaire, soit en un sens, soit en sens inverse.

De pareils courants se produisent en différentes régions de la Manche, du Pas-de-Calais et de la mer du Nord; ils y ont fait l'objet de nombreuses observations, qui étaient dictées surtout par les besoins de la navigation et qui ont permis de déterminer plus particulièrement le régime des marées de ces mers.

<sup>(1)</sup> Keller. *Exposé du régime des courants observés depuis le XVI<sup>e</sup> siècle jusqu'à nos jours dans la Manche et la mer d'Allemagne.*



III. — DU RÉGIME DES COURANTS DE MARÉE DANS LA MANCHE, LE PAS-DE-CALAIS  
ET LA MER DU NORD.

Lorsque l'onde marée de l'océan Atlantique arrive à l'entrée de la Manche, elle donne lieu à une onde dérivée qui parcourt cette mer de l'ouest à l'est pour se diriger ensuite vers le nord, à travers le Pas-de-Calais. Elle s'engage en même temps dans la mer d'Irlande et continue d'autre part à se propager le long des côtes ouest de l'Irlande et de l'Ecosse, contourne les îles Orcades, pénètre dans la mer du Nord et vient rencontrer, au large des bancs des Flandres, l'ondulation de la Manche; mais de ces deux ondes qui se rencontrent, celle qui arrive du nord a quitté le point de départ commun douze heures plus tôt que l'autre (Pl. I, fig. 4).

Le régime des marées dans la Manche, le Pas-de-Calais et la mer du Nord, résulte donc de l'interférence de deux ondulations dirigées en sens inverse, l'une venant de l'ouest, l'autre du nord et dérivant toutes deux de la grande onde de l'Atlantique.

Cette opinion a été développée en 1855 par M. Keller dans son exposé sur le régime des courants dans la Manche et la mer d'Allemagne.

Avant lui, l'ingénieur hydrographe M. Monnier, se basant sur diverses observations qui avaient été faites dans la Manche, le Pas-de-Calais et la partie méridionale de la mer du Nord, par les ingénieurs de la Marine sous les ordres de M. Beautemps-Beaupré, et par les capitaines de vaisseau White et Dupetit-Thouars, formula une série de lois générales destinées à rattacher le régime des courants au mouvement vertical de la marée et d'après lesquelles celle-ci résulterait de la propagation d'une seule onde, venant de l'ouest et circulant dans la Manche et le Pas-de-Calais, comme dans un canal ouvert à ses deux extrémités.

M. Keller, qui disposa des nouvelles observations recueillies depuis l'époque où M. Monnier avait publié son mémoire<sup>(1)</sup>, fit voir que les lois énoncées par cet ingénieur étaient erronées et il mit en lumière de nombreux faits concernant le régime des marées de la Manche, en contradiction avec l'hypothèse de la propagation d'une seule onde et s'expliquant par l'interférence de deux ondes opposées.

Tels sont :

1° Les irrégularités que l'on constate dans les établissements de marée sur la côte anglaise, lesquels progressent en divers endroits en sens inverse par rapport

(1) Le mémoire de M. Monnier a été publié en 1833; il fut suivi en 1839 d'un supplément, ainsi que d'un tableau dressé sous forme de carte marine, indiquant les diverses particularités relatives aux courants de marée dans la Manche et la partie méridionale de la mer du Nord, d'après les observations précitées.



aux établissements de la côte de France, et ont en outre des différences très-faibles pour certains points, tandis que pour d'autres, beaucoup plus rapprochés, on observe des différences de trois heures;

2° L'existence de deux maxima de hauteur de marée, correspondant respectivement aux marées de Beachy-Head et de Cayeux et à celles de Start-Point et des Héaux et comprenant un minimum intermédiaire au droit de Poole et de Barfleur; ces maxima présentent une différence de près de 6 heures dans leurs établissements; lesquels diffèrent chacun de 3 heures environ avec l'établissement du minimum intermédiaire. Ils se produisent lorsque les ondes opposées coïncident, les sommets et les creux se superposant nécessairement en deux points, distants de la moitié de la longueur de l'onde et dont la différence d'établissement est de 6 heures, puisqu'il y a haute mer à l'un des points quand il y a basse mer à l'autre, et réciproquement; 3 heures avant ou après, à l'instant où le sommet de l'une des ondes occupe le milieu de la distance comprise entre les deux points précités et s'y trouve placé au-dessus du creux de l'onde opposée, la hauteur de la marée est représentée en cet endroit par la différence des deux ondes et elle doit par conséquent être très-faible, comparée à celle qui se réalise aux endroits où les sommets se réunissent;

3° Enfin, la coexistence d'un maximum de vitesse des courants avec un minimum de hauteur de la marée que l'on observe dans le canal de Cherbourg, entre Barfleur et Poole, de même que le fait inverse qui se produit entre Start-Point et les Héaux, comme entre Beachy-Head et Cayeux, où la vitesse des courants est moitié moindre, alors que l'ondulation y atteint sa plus grande hauteur. Cette particularité, dont on ne saurait se rendre compte dans l'hypothèse de la propagation d'une seule onde, est une conséquence toute naturelle de l'interférence de deux ondes opposées. Car pour tous les points où la hauteur de celles-ci s'ajoute, les courants résultant séparément du mouvement moléculaire de chacune d'elles sont dirigés en sens contraire et se neutralisent en partie; aux endroits où le mouvement vertical des deux ondes a lieu en sens inverse et où le sommet de l'une des ondes vient se placer au-dessus du creux de l'autre, le flot de la première a la même direction que le jusant de la seconde, et la combinaison de ces deux courants coexistants fait naître le maximum de vitesse dans la région où l'amplitude de la marée est la plus faible.

M. Beechey, dans une étude publiée en 1851, avait déjà émis cette opinion que le régime des courants de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord résulte de l'interférence de deux ondes opposées, mais il admettait en outre que ces ondes devaient être d'égale intensité, assimilant ainsi le régime



des courants de la Manche à celui des courants du canal Saint-Georges, pour lequel il venait de mettre cette particularité en lumière. Ce navigateur était arrivé à cette conclusion, en constatant certaines similitudes que le canal de la Manche offre avec celui de Saint-Georges, tant dans ses formes générales que dans les vitesses locales de progression des établissements correspondants, ainsi que l'identité des heures d'établissement dans le détroit de Calais et dans le détroit ouest de l'île de Man, comme celle des établissements de Bristol et de Saint-Malo. Il avait observé ensuite que dans la baie de la Seine et dans celle de la Tamise, les courants renversent à peu près simultanément et ce au moment du plein à Douvres, et qu'ils acquièrent aussi, dans tous les points de ces régions, presque en même temps leur vitesse maximum, laquelle a lieu sensiblement aux instants de la mi-marée observée à ce port.

M. Keller a démontré que les ondes marées de la Manche et de la mer du Nord sont au contraire d'inégale intensité, en faisant ressortir que les phénomènes distinctifs qui caractérisent nécessairement l'égalité de deux ondes opposées et qu'on observe dans le canal Saint-Georges, ne se produisent pas dans ces mers.

Ainsi, quand deux ondes égales se superposent, le flot de la première qui correspond, on le sait, à la partie de l'onde située au-dessus du niveau moyen de la mer, occupe la même zone que le flot de la seconde, et ces deux courants, étant de direction contraire, se neutralisent; il en est de même pour les courants de jusant qui correspondent respectivement à la partie de chacune des ondes situées au-dessous du niveau moyen de la mer, de sorte qu'une étale générale doit se produire dans toute l'étendue du canal occupée par la double ondulation. Ce fait se vérifie dans le canal Saint-Georges, tandis que dans la Manche et la mer du Nord, le renversement des courants s'opère bien simultanément dans la baie de la Seine et dans celle de la Tamise; mais ces régions sont séparées par une zone intermédiaire qui s'étend de Dieppe à Dunkerque, sur la côte de France, et de Beachy-Head à North-Foreland, sur la côte d'Angleterre, et où il y a flot au moment de la haute mer à Douvres et jusant au moment de la basse mer.

Ensuite, au point occupé par les deux sommets à l'instant de la superposition de deux ondes égales, il n'existe aucune apparence de courants, car ceux qui s'y produisent sont constamment égaux et de direction contraire. Pareil point existe dans le canal Saint-Georges, à l'ouest de l'île de Man.

On reconnaîtra de même que dans le cas de deux ondes égales, lorsque le sommet de l'une des ondes est venu se placer au-dessus du creux de l'onde opposée, le niveau moyen s'établit sur tous les points, en même temps que le



maximum de vitesse des courants; et au point de rencontre du sommet et du creux, où les mouvements verticaux de l'eau, aux autres instants, sont constamment égaux et de signe contraire, la marée verticale est insensible. Ces particularités, que l'on constate encore dans le canal Saint-Georges, ne se produisent pas dans la Manche, où les phénomènes observés semblent indiquer un régime intermédiaire entre le régime propre à l'interférence de deux ondes opposées égales et celui propre à la propagation d'une onde simple.

Mentionnons comme tels :

1° L'accélération de la vitesse de déplacement des étales par rapport aux établissements, accélération qui se produit dans la baie de la Seine, entre le cap la Hague et Dieppe, et dans la baie de la Tamise, entre North-Foreland et Cromer, et qui constitue un phénomène intermédiaire entre la progression des étales avec une vitesse peu différente de celle des établissements, répondant à l'hypothèse d'une seule onde, et les étales générales simultanées ou se propageant avec une vitesse infinie, répondant à l'hypothèse de l'interférence de deux ondes opposées égales;

2° Le ralentissement de la vitesse de déplacement des étales coïncidant avec l'accélération de la progression des établissements, que l'on constate dans le détroit, entre Dieppe et Dunkerque, et entre Beachy-Head et North-Foreland, phénomène intermédiaire entre la progression uniforme des étales et des établissements, et une étale fixe.

Après avoir établi que les ondes qui parcourent la Manche et la mer du Nord sont d'inégale intensité, M. Keller conclut des observations relatives à la progression des étales que, dans la Manche, la prépondérance de l'onde de l'ouest doit être plus accentuée sur la côte de France que sur celle d'Angleterre; sur cette dernière côte, le régime des courants s'écarte en effet moins du régime propre au cas de deux ondes égales que sur celle de France; de plus, la hauteur de marée minimum qui correspond au point où le sommet de l'une des ondes coïncide avec le creux de l'autre, est plus faible sur le littoral anglais que sur le littoral français, ce qui prouve encore que l'excès de l'onde principale y est moindre.

Dans la mer du Nord, l'onde de l'ouest est affaiblie par son passage au détroit, et elle ne conserve sa prépondérance que sur la côte du continent, tandis que celle du nord prédomine sur la côte est d'Angleterre. Entre ces deux zones soumises respectivement à deux actions ondulatoires prédominantes inverses, il doit exister une ligne où les ondes opposées sont égales. Cette ligne paraît se trouver au droit du thalweg du canal des Flandres; son existence serait confirmée par la faible hauteur, 0<sup>m</sup>61, de la marée, observée par M. Hewitt à mi-chenal entre la côte de Hollande et celle d'Angleterre.



Il est à remarquer que, dans la Manche, la prédominance de l'onde de l'ouest sur celle du nord est plus considérable dans les marées croissantes que dans les marées décroissantes, puisque la première prend naissance plusieurs heures plus tard que la seconde; dans la mer du Nord, au contraire, la prépondérance de l'onde du nord, sur la côte d'Angleterre, est plus considérable dans les marées décroissantes que dans les marées croissantes.

On voit que le régime des courants dans la Manche et dans la mer du Nord, outre qu'il est dû à l'interférence de deux ondes opposées dont l'intensité relative varie d'un point à un autre, subit encore, en chaque point, des variations périodiques suivant la position des astres. Il en résulte qu'il n'est pas possible de formuler des lois générales régissant le régime de ces courants, lesquels n'obéissent qu'à des lois strictement locales.

Pour définir celles-ci, M. Keller a divisé l'étendue de ces mers en différentes régions, suivant le caractère distinctif des courants qui se propagent dans chacune d'elles. Cette division, qui est indiquée par des traits pointillés sur la carte représentée pl. III, est la suivante :

A l'entrée de la Manche jusqu'au méridien de Start-Point ou des Sept-Iles, les courants ont un mouvement giratoire direct, c'est-à-dire qu'ils sont constamment variables et parcourent successivement toutes les aires du compas en allant de droite à gauche et passant par le nord, soit dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre. A l'est du méridien de Start-Point jusqu'à la ligne joignant le cap de Barfleur à Exmouth, les courants ont un mouvement giratoire inverse, soit de gauche à droite en passant par le nord.

Dans la mer d'Allemagne, il ont un parcours giratoire direct sur le parallèle du Texel et depuis la Meuse jusqu'à l'azimut N.O. de Groningue, et un parcours giratoire inverse dans le golfe de Jutland, depuis ce dernier azimut jusqu'au Skager-Rack.

Pour toutes ces régions, le mouvement giratoire des courants se produit au large comme dans le voisinage des côtes.

Il n'en est pas de même pour l'étendue de la Manche et de la mer du Nord, comprise entre les deux lignes reliant respectivement le cap de Barfleur à Exmouth et Brielle à Lowestoft, où il faut considérer séparément la zone du large et les zones littorales. Dans la zone du large, les courants sont directement alternatifs, c'est-à-dire qu'ils ne présentent que deux directions à peu près opposées et restant alternativement invariables tant que leur vitesse est appréciable.

Le long de la côte anglaise, le régime des courants est giratoire direct; le long de la côte du continent, il est giratoire inverse. Ces zones littorales n'ont



qu'une largeur relativement faible, sauf à l'embouchure de la Tamise, pour la côte anglaise, et à l'embouchure de la Seine, dans la baie de la Somme et sur le littoral des Flandres et de Zélande, pour la côte du continent.

Les courants alternatifs de la zone du large résultent des mouvements moléculaires provoqués par la transmission normale des ondes. Ceux qui se meuvent de gauche à droite et qui, dans la région comprise entre le détroit d'une part et les bancs des Flandres et de la Tamise d'autre part, sont dirigés vers le N.E., constituent les courants de flot; ceux qui se meuvent en sens inverse et qui dans la même région sont dirigés vers le S.O., constituent les courants de jusant. Les étales de flot et de jusant y occupent donc respectivement l'extrémité de droite et l'extrémité de gauche des courants de même nom, en considérant, bien entendu, ce qui se passe successivement pour les mêmes particules d'eau en mouvement.

Comme les étales progressent de gauche à droite, elles envahissent le courant de droite et sont envahies par le courant de gauche; et, si l'on embrasse l'étendue occupée par les courants de flot et de jusant du large à un même moment donné, on remarquera que le flot et le jusant sont situés à droite de leur étale respective et à gauche de leur étale inverse. Il s'ensuit que les lignes des étales de flot séparent chaque fois des zones dont les courants s'éloignent d'elles et que les lignes des étales de jusant séparent des zones dont les courants se dirigent vers elles.

Lorsque, par suite des inflexions du thalweg, les courants coexistants en avant et en arrière d'une étale n'ont pas une direction diamétralement opposée, ils donnent lieu à une résultante transversale qui les fait devier et subsiste pendant l'étale intermédiaire. Dans la région définie plus haut et comprise entre les lignes reliant respectivement Barfleur à Exmouth et Brielle à Lowestoft, il n'existe pas de pareils courants au large; on ne les observe que dans les zones littorales, et il est aisé de voir qu'autour des pointes et des terres avancées, ces résultantes transversales se dirigent vers le large à l'étale de jusant et vers la terre à l'étale de flot, tandis que, dans les grandes baies ou terres rentrantes, elles se dirigent vers la terre à l'étale de jusant et vers le large à l'étale de flot.

M. Keller attribue le mouvement giratoire des courants que l'on observe dans les zones littorales, à la combinaison des courants longitudinaux de flot et de jusant avec les courants transversaux qui règnent dans le voisinage des côtes et y correspondent à la montée et à la descente alternatives de l'eau sur le rivage; car là où une étale de flot coïncide avec un courant transversal portant à terre, l'étale de jusant coïncidera nécessairement avec un courant transversal portant au large et réciproquement. Et comme dans les régions dont il s'agit,



l'onde venant de l'ouest est prédominante sur celle venant du nord, on comprend aussi que le long de la côte anglaise, où les courants transversaux qui se produisent sur les rivages pendant les étales, sont situés à gauche de l'onde prédominante, le mouvement giratoire doit être direct, tandis que le long du continent, où ils sont situés à droite de cette onde, le mouvement giratoire doit être inverse.

La cause déterminante du régime giratoire des courants existant au large dans les régions de la Manche situées à l'ouest de la ligne joignant Barfleur à Exmouth, et à l'est de celle joignant Brielle à Lowestoft, n'est pas la même. Dans l'opinion de M. Beechey, elle réside dans le croisement de deux ondes coexistantes, dont les directions se coupent sous un certain angle.

M. Comoy, sans discuter les théories qui précèdent, pense que les courants giratoires peuvent naître aussi des positions différentes que les étales de flot et de jusant occupent par rapport à la haute mer aux diverses sections d'une onde marée, faites dans le sens de la marche de celle-ci, lorsque cette onde se propage parallèlement aux côtes.

Ce fait s'observe dans les régions littorales de la Manche et de la partie septentrionale de la mer du Nord; les retards que les renversements des courants y présentent par rapport à la haute mer littorale, vont en croissant à mesure qu'on s'éloigne du rivage et ne deviennent constants qu'à partir d'une certaine distance au large; pour les parties des côtes non situées à l'embouchure des fleuves, où à l'entrée des baies, cette distance ne dépasse pas 5 à 6 milles. Si l'on considère par conséquent, dans le voisinage des côtes, deux sections verticales de l'onde, mais suffisamment rapprochées l'une de l'autre, le courant de jusant se manifeste dans une section, quand le courant de flot existe encore dans l'autre, circonstance qui semble en effet devoir transformer le mouvement alternatif des courants longitudinaux en un mouvement giratoire.

Pour terminer ce paragraphe nous indiquerons l'établissement du port et la hauteur moyenne des marées de syzygies observées en divers points des côtes de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord.

CÔTE DU CONTINENT.

	Etablissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
Ouessant.	3 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup> ,40
Héaux.	5 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	9,45
Saint-Malo.	6 <sup>h</sup> 5 <sup>m</sup>	11,20
Cap la Hague.	7 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	8,25
Cherbourg.	8 <sup>h</sup> 2 <sup>m</sup>	5,85

CÔTE D'ANGLETERRE.

	Etablissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
I. Scilly.	4 <sup>h</sup> 30 <sup>m</sup>	4 <sup>m</sup> ,80
Start-Point.	5 <sup>h</sup> 32 <sup>m</sup>	5,20
Exmouth.	6 <sup>h</sup> 21 <sup>m</sup>	3,70
Portland.	7 <sup>h</sup> 1 <sup>m</sup>	2,06
Portsmouth.	11 <sup>h</sup> 41 <sup>m</sup>	4,12



CÔTE DU CONTINENT.

	Etablissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
Le Havre.	9 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup>	7 <sup>m</sup> ,20
Dieppe.	11 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	8,55
Boulogne.	11 <sup>h</sup> 26 <sup>m</sup>	7,86
Dunkerque.	12 <sup>h</sup> 13 <sup>m</sup>	5,45
Ostende.	12 <sup>h</sup> 25 <sup>m</sup>	4,60
Flessingue.	12 <sup>h</sup> 50 <sup>m</sup>	4,20
Brielle (Meuse).	3 <sup>h</sup> 8 <sup>m</sup>	1,70
Nieuwe Diep.	6 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	1,40

CÔTE D'ANGLETERRE.

	Etablissement.	Hauteur de la marée aux syzygies.
Brighton.	11 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	6 <sup>m</sup> ,00
Dungeness.	10 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	6,80
Douvres.	11 <sup>h</sup> 12 <sup>m</sup>	5,80
Margate.	11 <sup>h</sup> 45 <sup>m</sup>	4,65
Harwick.	12 <sup>h</sup> 6 <sup>m</sup>	3,45
Orfordness.	11 <sup>h</sup> 15 <sup>m</sup>	2,44
Lowestoft.	9 <sup>h</sup> 57 <sup>m</sup>	1,98
Cromer.	7 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup>	4,40

A Ouessant l'étalement de flot du large retarde de 2<sup>h</sup>30<sup>m</sup> sur la haute mer littorale; ce retard augmente jusqu'au cap la Hague où il est de 4 heures. A partir du cap la Hague, l'étalement de flot du large se déplace avec une vitesse accélérée par rapport à celle suivant laquelle se propage la haute mer littorale; elle franchit la région qui s'étend de ce cap jusqu'à Dieppe en 1 heure environ, tandis que la haute mer emploie plus de 3 heures à parcourir cette distance, de sorte qu'à Dieppe, le retard de l'étalement de flot sur la haute mer littorale n'est que de 1<sup>h</sup>20<sup>m</sup>. De Dieppe à Dunkerque, l'étalement de flot acquiert au contraire une vitesse ralentie par rapport au déplacement de la haute mer; elle met près de 5 heures à franchir l'étendue qui sépare ces deux points, alors que la haute mer littorale n'emploie qu'une heure; le retard de l'étalement de flot est de 5 heures au large de Dunkerque pour 12<sup>h</sup>13<sup>m</sup> d'établissement à ce port.

Sur la côte anglaise, le renversement du flot au large des îles Scilly se produit 3 heures après l'instant de la haute mer littorale. A l'est de cet endroit, l'étalement de flot présente une vitesse ralentie par rapport à celle avec laquelle s'opère le déplacement de la haute mer et elle retarde de 5 heures sur celle-ci à Portland-Bill; elle acquiert ensuite une vitesse accélérée jusqu'à Portsmouth et y coïncide avec le plein de l'eau, observé dans ce port. Au delà de Portsmouth, l'étalement de flot du large retarde de plus en plus sur la haute mer littorale et ne se produit, au Galloper, qu'à 6<sup>h</sup>30<sup>m</sup>, pour 12<sup>h</sup>26<sup>m</sup> d'établissement à Margate.

IV. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS DANS LES PARAGES COMPRIS ENTRE LE DÉTROIT DU PAS-DE-CALAIS ET LES BANCs DES FLANDRES ET DE LA TAMISE.

Les caractères principaux du régime des courants de ces parages sont détaillés dans le mémoire de M. l'Ingénieur Plocq : *Etude des courants et de la marche*



*des alluvions aux abords du détroit de Douvres et du Pas-de-Calais, sur les côtes de France et d'Angleterre* <sup>(1)</sup>, auquel nous empruntons les renseignements suivants :

Dans la zone du large, les étales des courants directement alternatifs, lesquels sont dirigés successivement vers la région du N.E. et vers la région du S.O., retardent d'autant plus par rapport aux heures des hautes et des basses mers au rivage, qu'on s'éloigne du détroit et de la côte française pour se rapprocher de l'embouchure de la Tamise; il s'agit, bien entendu, des étales qui se produisent à une distance de 5 à 6 milles au moins au large.

Par des marées moyennes de vive eau, la vitesse maximum des courants de flot, observée en différents points de cette région, varie de 1<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,00 par seconde et la vitesse maximum des courants de jusant, de 1<sup>m</sup>,45 à 1<sup>m</sup>,85 par seconde. Ainsi la vitesse du flot, à l'instant de son maximum, est de 1<sup>m</sup>,80 par seconde sur la Bassurelle, de 2<sup>m</sup>,00 sur le Colbart et de 1<sup>m</sup>,50 sur le Sandettie; celle du jusant, observée aux mêmes points et dans les mêmes conditions, est respectivement de 1<sup>m</sup>,50 de 1<sup>m</sup>,85 et de 1<sup>m</sup>,45 par seconde.

Dans les zones littorales, où les courants sont giratoires directs près de la côte anglaise et giratoires inverses près de la côte française, les étales de flot et de jusant, à quelque distance du rivage d'Angleterre, présentent un retard de 3 heures à 4 1/2 heures sur les hautes et les basses mers, de Dungeness à North-Foreland; et sur une largeur plus grande, le long du continent, un retard à peu près uniforme de 3 heures à 3 1/2 heures sur les hautes et les basses mers, de Gris-Nez à la frontière de Belgique.

La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, porte généralement entre le N. et le N.E. sur le littoral anglais et entre le N.E. et l'E.N.E. sur le littoral français, et cette vitesse varie de 1<sup>m</sup>,30 à 1<sup>m</sup>,50 par seconde le long de l'Angleterre et de 1<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,30 par seconde le long du continent.

La direction du courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, porte généralement entre le S. et le S.O. sur le littoral anglais et entre l'O. et le S.O. sur le littoral français, et cette vitesse varie de 1<sup>m</sup>,30 à 1<sup>m</sup>,50 par seconde, le long de l'Angleterre, et de 1<sup>m</sup>,30 à 2<sup>m</sup>,05 le long du continent.

Les tableaux ci-dessous contiennent les principales données relatives à la vitesse et à la direction des courants de flot et de jusant, observées devant Boulogne et Calais, et dans les parages de Dunkerque.

<sup>(1)</sup> *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1863.



COURANTS DE FLOT DANS LES MARÉES MOYENNES DE VIVE EAU.			
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum par seconde.	Heure à laquelle se produit la vitesse maximum par rapport à l'heure de la haute mer.	Direction du courant au moment de sa vitesse maximum
Devant Boulogne. . . . .	1 <sup>m</sup> , 50	3/4 d'heure après le plein	N. N. E.
Devant Calais . . . . .	2, 15	au moment du plein	N. E.
A l'entrée ouest de la rade de Dunkerque .	1, 50	un peu après le plein	E. N. E.
Dans la rade de Dunkerque . . . . .	1, 80	id.	E. N. E.
A l'entrée est de la rade de Dunkerque ou passe de Zuidcote. . . . .	1, 80	1/2 heure après le plein	E. N. E.

COURANTS DE JUSANT DANS LES MARÉES MOYENNES DE VIVE EAU.			
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum par seconde	Heure à laquelle se produit la vitesse maximum par rapport à l'heure de la basse mer.	Direction du courant au moment de sa vitesse maximum
Devant Boulogne. . . . .	1 <sup>m</sup> , 35	un peu après la basse mer	S. S. O.
Devant Calais . . . . .	2, 05	id.	O. S. O.
A l'entrée ouest de la rade de Dunkerque.	1, 30	id.	O. 1/4 N. O.
Dans la rade de Dunkerque . . . . .	1, 50	aux environs de la basse mer	Ouest
A l'entrée est de la rade de Dunkerque ou passe de Zuidcote. . . . .	1, 50	un peu après la basse mer	O. 1/4 S. O.

Les vitesses des courants de morte eau, tant pour la zone du large que pour les zones littorales, sont environ dans le rapport de 5 à 12 avec celles des courants de vive eau, et les maxima se produisent entre les instants de 1/4 à 3/4 de flot et les instants de 1/4 à 3/4 de jusant.

La durée du jusant, en vive eau comme en morte eau, est généralement supérieure de 1 1/2 à 2 heures à la durée du flot.

Ainsi que M. Plocq le dit, toutes les indications qui précèdent, résultent d'observations faites dans des conditions approximatives moyennes, car la force et la direction du vent exercent une grande influence sur la vitesse, la durée et la direction des courants à la surface de la mer.

#### V. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS LE LONG DE LA CÔTE DE BELGIQUE.

Les courants giratoires inverses qui se produisent le long de la côte de Belgique, occupent une zone relativement étendue; on les observe notamment au feu flottant du Westhinder, qui se trouve à 17 milles au large.

A l'intérieur des bancs des Flandres on remarque, d'une manière générale, que la plus grande vitesse du flot se produit aux environs de l'heure de la haute mer; le courant porte à ce moment vers une région comprise entre l'E. et



le N.E.; il s'incline vers le large à mesure que la marée descend, et diminue en même temps d'intensité pour s'éteindre à l'étalement. Celle-ci dure de 15 à 20 minutes.

Après l'étalement de flot commence le courant de jusant; sa vitesse, très-faible d'abord, croît graduellement et atteint son maximum aux environs de l'heure de la basse mer; le courant porte alors vers une région comprise entre l'O. et le S.O.; il court ensuite peu à peu vers la côte, en diminuant d'intensité et s'éteint à l'étalement, dont la durée diffère peu de celle de l'étalement de flot. Immédiatement après l'étalement de jusant, le flot reparait avec une vitesse peu sensible d'abord, mais qui s'accroît de plus en plus, pendant que le courant s'incline lentement vers la direction qu'il occupe au moment de sa plus grande force, pour continuer ensuite son mouvement orbitaire.

Lorsque le vent n'intervient pas, la durée du courant de jusant est supérieure, en moyenne, de 1 heure à 1  $\frac{1}{2}$  heure à celle du courant de flot.

Les retards des étalements de flot et de jusant sur les hautes et les basses mers au rivage augmentent à mesure qu'on s'éloigne de la côte; nous avons constaté que ces retards sont de 2 heures environ à  $\frac{1}{4}$  de mille, et de 3 heures environ à 3 milles de distance au large.

L'accroissement du retard des étalements, pour des points de plus en plus éloignés de la côte, n'est d'ailleurs pas régulier; il semble subir l'influence des bancs et des passes qu'on rencontre le long de notre littoral.

Pendant les années 1864 et 1865, M. le Lieutenant de vaisseau Stessels a observé les courants de marée à bord du bateau-feu du Westhinder et à bord du bateau-feu qui se trouvait encore à cette époque dans la passe du Wielingen, au banc du Paardemarkt <sup>(1)</sup>.

D'après ces observations, l'heure de la marée haute au feu flottant du Westhinder précède de quelques minutes celle de la marée haute observée à Ostende. Le flot commence à porter vers terre 10<sup>h</sup>22<sup>m</sup> après la haute mer de ce port, avec une vitesse de près de 0<sup>m</sup>,06 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction du N. 65°26' O. par compas. Cette vitesse est en moyenne de 0<sup>m</sup>,60 par seconde et se produit 1  $\frac{1}{2}$  heure environ après le plein de la mer à Ostende. Le jusant commence à porter vers le large 4<sup>h</sup>34<sup>m</sup> après la marée haute à Ostende, avec une vitesse d'environ 0<sup>m</sup>,10 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction du S. 68°10' O. par compas; cette vitesse est en moyenne de 0<sup>m</sup>,68 par seconde et se produit 7<sup>h</sup>44<sup>m</sup> après le plein de la mer à Ostende.

Le courant de flot dure en moyenne, au Westhinder, 6<sup>h</sup>36<sup>m</sup> et le courant de jusant, 5<sup>h</sup>48<sup>m</sup> <sup>(2)</sup>.

<sup>(1)</sup> *Annales des Travaux Publics de Belgique*. Premier cahier. Tome XXV.

<sup>(2)</sup> Les données moyennes de M. Stessels résultent d'observations faites tant en morte eau qu'en vive eau.



A l'ancien emplacement du feu flottant du Paardemarkt, le flot commence à porter vers terre 3<sup>h</sup>49<sup>m</sup> avant la marée haute observée à Ostende avec une vitesse de 0<sup>m</sup>,015 par seconde; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction S.77°40' E. par compas; cette vitesse est en moyenne de 1<sup>m</sup>,08 par seconde et se produit 0<sup>h</sup>55<sup>m</sup> avant la haute mer à Ostende.

Le jusant commence à porter vers le large 2<sup>h</sup>31<sup>m</sup> après la marée haute à Ostende; il atteint sa plus grande vitesse dans la direction N.78°40' O. par compas; cette vitesse est en moyenne de 0<sup>m</sup>,95 par seconde et se produit 5<sup>h</sup>23<sup>m</sup> après le plein de la mer à Ostende.

Le courant de flot près du Paardemarkt dure en moyenne 6<sup>h</sup>20<sup>m</sup> et le courant de jusant 6<sup>h</sup>44<sup>m</sup>.

En 1879 et 1880, M. le Lieutenant de vaisseau Petit a procédé à de nouvelles expériences sur les courants de marée au bateau-phare du Wielingen, mouillé alors au N. 26° E. de Blankenberghe et dans l'alignement de Bruges par Lisseweghe, en opérant à l'aide du moulinet de Baumgarten, par une mer calme et à 2 mètres de profondeur sous la surface. La moyenne des résultats qu'il a obtenus, tant en vive eau qu'en morte eau, est représentée par les chiffres suivants :

Courant de flot :

3	heures avant la haute mer, vitesse par seconde	0 <sup>m</sup> ,31
2 1/2	id. id. id.	0,40
2	id. id. id.	0,60
1 1/2	id. id. id.	0,88
1	id. id. id.	1,03
1/2	id. id. id.	0,96
haute mer	id.	0,87
1/2	heure après la haute mer	0,76
1	id. id. id.	0,63
1 1/2	id. id. id.	0,33
2	id. id. id.	0,46
2 1/2	id. id. id.	0,33
3	id. id. id.	0,25

Courant de jusant :

3	heures avant la basse mer, vitesse par seconde	0 <sup>m</sup> ,43
2 1/2	id. id. id.	0,61
2	id. id. id.	0,77
1 1/2	id. id. id.	0,88
1	id. id. id.	0,90
1/2	id. id. id.	0,83
basse mer	id.	0,73
1/2	heure après la basse mer	0,58
1	id. id. id.	0,49



Courant de jusan :

1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	heure après la basse mer,	vitesse par seconde	0 <sup>m</sup> ,39
2	id.	id.	0,31
2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	id.	id.	0,24
3	id.	id.	0,22

A l'ancien emplacement du bateau-phare du Wielingen, le courant de flot atteint donc moyennement sa vitesse maximum une heure environ avant l'instant de la haute mer; le courant de jusan, en ce même point, atteint sa vitesse maximum une heure environ avant l'instant de la basse mer.

Les observations que nous avons faites nous-même sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Piens, et avec le concours de M. le Conducteur des Ponts et Chaussées Baey, ont montré que, le long de la côte des Flandres, la vitesse maximum du courant de flot, mesurée à la surface de la mer à l'aide de flotteurs, varie en temps calme et par des marées moyennes de vive eau, de 1<sup>m</sup>,10 à 1<sup>m</sup>,30 par seconde; la vitesse maximum du courant de jusan, mesurée dans les mêmes conditions, varie de 0<sup>m</sup>,85 à 1<sup>m</sup>,10 par seconde.

En morte eau, la vitesse maximum du courant de flot varie de 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,75 par seconde et celle du courant de jusan de 0<sup>m</sup>,45 à 0<sup>m</sup>,60 par seconde.

Les courants de flot et de jusan sont généralement plus intenses le long de la côte de Heyst et dans la passe du Wielingen, ce qui nous semble devoir être attribué au voisinage de l'embouchure de l'Escaut.

Les tableaux suivants renseignent séparément pour les parages de Nieuport, d'Ostende, de Heyst et de Knocke, les principaux résultats des observations précitées. Nous devons ajouter que ces données proviennent d'un nombre relativement restreint d'expériences se rapportant exclusivement aux courants qui se produisent par une mer calme ou sous l'influence de brises légères. Elles se modifient notablement lorsque le vent souffle avec intensité. Ainsi les vents d'ouest ou d'aval augmentent la durée et la vitesse du courant de flot et ce d'autant plus qu'ils sont plus violents; les vents d'est produisent un effet analogue sur la durée et la vitesse du courant de jusan. Avec de forts vents de terre, le courant de flot, en passant par le nord, conserve à son étale une vitesse appréciable dans la couche superficielle; le courant de jusan s'incline moins vers la côte et il se produit, à son étale, un courant de surface vers le large jusqu'au moment du flot. Les vents du large donnent lieu à des effets inverses.



MARÉES DE VIVE EAU ORDINAIRES.				
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum du courant de flot par seconde.	Direction du courant de flot au moment de sa vitesse maximum.	Vitesse maximum du courant de jusant par seconde.	Direction du courant de jusant au moment de sa vitesse maximum.
1. A l'ouest de Nieuport, en deça du méridien d'Oostduinkerke, à 1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune.	1 <sup>m</sup> ,20	N. E. $\frac{1}{4}$ E.	1 <sup>m</sup> ,03	O. $\frac{1}{4}$ S. O.
2. Rade de Nieuport à 3000 m <sup>s</sup> à l'est de ce port (4500 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	1,30	N. E. $\frac{1}{4}$ E.	1,10	O. $\frac{1}{4}$ S. O.
3. Passe du Nord de la rade de Nieuport (7500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	1,15	N. E.	0,95	O S. O.
4. Petite rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (1300 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . .	1,10	N. E. $\frac{1}{4}$ E.	0,85	O. $\frac{1}{4}$ S. O.
5. Grande rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (3000 m <sup>s</sup> du pied de la dune).	1,20	E. N. E.	0,95	S. O. $\frac{1}{4}$ O.
6. Fosse de Heyst, au droit de l'épi n° 39 <sup>bis</sup> établi sur l'estran, à 1500 m <sup>s</sup> à l'ouest des écluses de Heyst (1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune).	1,40	E. N. E.	1,30	O. S. O.
7. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit de l'épi n° 39 <sup>bis</sup> précité (2500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	1,25	E. $\frac{1}{4}$ S. E.	1,05	O. S. O.
8. A l'ouest et près de l'emplacement occupé jusqu'en 1882 par le bateau-phare du Wielingen (3500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	1,45	E. $\frac{1}{4}$ S. E.	1,35	O. S. O.
9. Fosse de Heyst, au droit de village de Knocke (1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	1,40	E. N. E.	1,35	O. S. O.
10. Banc du Binnen-Paardemarkt, au droit du village de Knocke (1700 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	1,30	E. N. E.	1,10	O S. O.
11. Passe du Wielingen, au droit du village de Knocke (4000 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	1,50	E. $\frac{1}{4}$ S. E.	1,45	Ouest.

MARÉES DE MORTE EAU ORDINAIRES.				
LIEU DE L'OBSERVATION.	Vitesse maximum du courant de flot par seconde.	Direction du courant de flot au moment de sa vitesse maximum.	Vitesse maximum du courant de jusant par seconde.	Direction du courant de jusant au moment de sa vitesse maximum.
1. A l'ouest de Nieuport, en deça du méridien d'Oostduinkerke, à 1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune.	0 <sup>m</sup> ,65	E. N. E.	0 <sup>m</sup> ,45	O. S. O.
2. Rade de Nieuport à 3000 m <sup>s</sup> à l'est de ce port, (4500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	0,70	N. E. $\frac{1}{4}$ E.	0,55	O. S. O.
3. Passe du Nord de la rade de Nieuport (7500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	0,60	N. E.	0,50	S. O. $\frac{1}{4}$ O.
4. Petite rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (1300 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . .	0,60	N. E. $\frac{1}{4}$ E.	0,50	O. $\frac{1}{4}$ S. O.
5. Grande rade d'Ostende, immédiatement à l'est de ce port (3000 m <sup>s</sup> du pied de la dune).	0,75	E. N. E.	0,60	O. S. O.
6. Fosse de Heyst, au droit de l'épi n° 39 <sup>bis</sup> établi sur l'estran, à 1500 m <sup>s</sup> à l'ouest des écluses de Heyst (1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune).	0,75	E. N. E.	0,65	O. S. O.
7. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit de l'épi n° 39 <sup>bis</sup> précité (2500 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	0,60	E. $\frac{1}{4}$ N. E.	0,45	O. S. O.
8. A l'ouest et près de l'emplacement occupé jusqu'en 1882 par le bateau-phare du Wielingen (3500 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	0,75	Est.	0,60	O. S. O.
9. Fosse de Heyst, au droit du village de Knocke (1000 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	0,80	E. N. E.	0,70	O. S. O.
10. Banc du Binnen-Paardemarkt au droit du village de Knocke (1700 m <sup>s</sup> du pied de la dune). . . . .	0,70	E. N. E.	0,55	O. $\frac{1}{4}$ S. O.
11. Passe du Wielingen, au droit du village de Knocke (4000 m <sup>s</sup> du pied de la dune) . . . . .	0,90	E. N. E.	0,80	O. $\frac{1}{4}$ S. O.



VI. — DU MOUVEMENT DE LA MARÉE LE LONG DE LA CÔTE DES FLANDRES.

Les courbes relatives au mouvement vertical de la marée sont enregistrées journallement à Ostende, à l'aide du maréographe installé à l'extrémité de l'estacade est du port; elles sont rapportées au busc de l'écluse des bassins de commerce. Ce busc est placé à 1<sup>m</sup>,48 au-dessous de la cote qui a été admise en Belgique, par l'administration des Ponts et Chaussées, comme étant celle du niveau moyen des basses mers de vive eau. Nous indiquerons ce repère, appelé *zéro d'Ostende*, par le signe (Z).

M. l'Ingénieur Principal Bovie vient de déterminer à nouveau, avec beaucoup de soin, les diverses données concernant la marée observée à Ostende, en se servant des diagrammes fournis par le maréographe, de 1878 à 1884 inclusivement.

D'après les calculs de cet ingénieur, on peut continuer à admettre que le niveau moyen des basses mers de vive eau correspond au zéro d'Ostende précité; les niveaux de la marée, rapportés à ce repère, sont les suivants :

Basses mers de vive eau ordinaires 0<sup>m</sup>,00

Hautes mers de vive eau ordinaires 4,60

Basses mers de morte eau ordinaires 0,72

Hautes mers de morte eau ordinaires 3,68

Le niveau moyen de la mer se trouve à 2<sup>m</sup>,19 au-dessus du (Z) <sup>(1)</sup>.

L'unité de hauteur est 2<sup>m</sup>,40.

L'établissement du port est de 12<sup>h</sup>25<sup>m</sup>.

Les courbes de marées moyennes sont figurées pl. II.

Afin de nous rendre compte des conditions d'amplitude et de vitesse avec lesquelles la marée se propage le long du littoral des Flandres, nous avons procédé le 27 Mars 1880, soit aux environs de l'équinoxe du printemps, aux observations nécessaires pour déterminer simultanément et d'heure en heure, avec des montres réglées d'avance, la hauteur de la marée aux ports de Dunkerque, de Nieuport,

(1) Les observations qui ont été faites par le Dépôt de la Guerre, du 1<sup>er</sup> mars 1834 au 31 août 1833, à l'échelle de l'écluse des bassins de commerce à Ostende, ont donné pour niveau moyen de la mer à ce port, la cote + 2<sup>m</sup>,30 par rapport au (z). Mais ces observations ne peuvent offrir le même degré d'exactitude que celles qui sont enregistrées mécaniquement à l'aide du maréographe; de plus, il se produit souvent une dénivellation entre la hauteur de l'eau dans l'avant-port et le niveau de la mer, soit à cause de l'écoulement des eaux supérieures à marée baissante, soit à cause de l'influence des vents du large sur les courants de remplissage qui pénètrent dans le chenal.

Le niveau moyen des basses mers de vive eau, adopté par le Dépôt de la Guerre et qui a servi de plan de comparaison pour le nivellement du royaume, est à 0<sup>m</sup>,166 au-dessus du (z). Il représente la moyenne entre les basses mers qui ont suivi immédiatement la pleine et la nouvelle lune, dans la période de temps comprise entre les dates précitées.



d'Ostende et de Blankenberghe, à l'écluse du Wielingen sur la côte de Cadzand, et au port de Flessingue <sup>(1)</sup>.

Les courbes ainsi obtenues sont représentées pl. II. Les cotes de hauteur y sont rapportées à un même plan de comparaison, qui correspond au (Z).

Il y avait eu pleine lune le 26 Mars à 1<sup>h</sup>43<sup>m</sup> du soir. Le jour de l'observation, le vent était N.O. le matin, petite brise et temps clair; vers midi, il a tourné au N. en augmentant d'intensité jusqu'à bonne brise.

On remarquera immédiatement que le niveau des basses mers se relève depuis Dunkerque jusqu'à Flessingue, et que l'amplitude de l'oscillation diminue d'une manière continue entre ces deux points, en allant de l'ouest à l'est. Les courbes présentent d'ailleurs, entre elles, une allure assez semblable et qui est, en général, plus régulière pour la partie correspondant à la descente de l'eau au rivage que pour celle correspondant à la montée.

En ce qui concerne la vitesse moyenne de propagation de la haute mer littorale, elle était, le jour de l'observation, d'environ 30 mètres par seconde de Dunkerque à Ostende, et d'environ 20 mètres par seconde d'Ostende à Flessingue.

Il est à noter que le niveau des hautes et des basses mers, de même que les établissements, ne varient pas seulement avec l'âge de la lune, mais qu'ils subissent aussi l'influence du vent.

Sur notre côte, l'amplitude de la marée augmente légèrement avec les vents de l'ouest au N.N.O. et diminue avec les vents de terre; les premiers amènent la marée haute un peu plus tôt que les seconds. Le niveau moyen éprouve des changements plus notables: il s'élève par les vents de l'O.N.O. au N.N.E. et s'abaisse par ceux de l'E.N.E. au S.S.O. C'est ainsi que l'on constate généralement, par de fortes tempêtes du large coïncidant avec des marées de syzygies, des hautes mers exceptionnellement élevées qui sont dues à l'accumulation des eaux sur le littoral, et par conséquent à la surélévation du niveau moyen.

La plus haute mer qui se soit produite dans nos parages pendant le siècle, est celle du 31 janvier 1877; elle atteignait à Ostende 6<sup>m</sup>,60 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaires. La marée extraordinaire du 4 février 1825, la plus haute connue jusqu'alors, avait atteint la cote 6<sup>m</sup>,50.

#### VII. — DES COURANTS DE MARÉE A L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT. — PROPAGATION DE LA MARÉE A L'INTÉRIEUR DU FLEUVE.

Les ondes marées, en passant devant l'embouchure d'un fleuve, déterminent

<sup>(1)</sup> M. Guillaïn, à cette époque ingénieur des Ponts et Chaussées à Dunkerque, MM De Bruyn et Castendyk, respectivement ingénieurs du Waterstaat à Flessingue et à Breskens, de même que nos collègues MM. Bovie et Bourgoignie, nous ont obligeamment prêté leur concours pour ces observations.



dans ce dernier une onde dérivée qui se propage en remontant le cours des eaux. La marée de l'Escaut est surtout influencée par l'onde venant de la Manche; mais il arrive quelquefois que celle du nord, après avoir longé la côte est d'Angleterre, vient rencontrer la précédente à l'ouverture du fleuve. Cette circonstance se présente d'ordinaire après les coups de vent du N.O.; l'ascension de la marée est alors plus forte; le plein arrive plus tôt et dure plus longtemps, et la courbe des hauteurs de la marée offre assez souvent deux maxima bien distincts <sup>(1)</sup>.

Dans l'estuaire de l'Escaut, en dehors du fleuve, les courants de marée conservent le même caractère que le long de la côte de Belgique; ils sont giratoires inverses.

A l'intérieur du Steenbank cependant, dans la fosse connue sous le nom de *Steendiep*, ils sont directement alternatifs et dirigés successivement vers l'E.N.E. et vers l'O.S.O., avec une molle eau intermédiaire <sup>(2)</sup>.

Près des passes de l'embouchure (Pl. XIV), le flot commence, en temps ordinaire, deux heures avant la haute mer à Flessingue; il vient du nord et court bientôt à l'E.S.E. vers l'île de Walcheren et le littoral des Flandres. Au moment de la pleine mer à Flessingue, le courant s'écarte lentement de la côte et, une heure après, il porte au N.E., puis au N.N.E., en passant par son maximum de vitesse, dont la moyenne est d'un peu plus de 1 mètre par seconde. Après la mi-marée à Flessingue, le courant du fleuve commence à être sensible en dehors des bancs et porte déjà au nord; une heure plus tard il court vers l'O.N.O. et atteint l'O.S.O. un peu avant la basse mer; puis il tourne au S.O.<sup>1</sup>/<sub>4</sub>O. en passant par son maximum de vitesse, qui diffère peu de celui du flot. Le jusant continue ensuite à s'incliner vers la côte pour se diriger vers le sud trois heures avant la haute mer à Flessingue.

Dans la passe du Wielingen, le courant de flot se dirige vers l'E.S.E. deux heures avant la haute mer à Flessingue et tourne ensuite à l'Est et au N.E. L'étalement de ce courant à Flessingue se produit 50 minutes après l'heure du plein. A partir de ce moment, le jusant s'accroît nettement à l'entrée du fleuve et court ensuite dans la direction O.N.O. vers le canal du Wielingen; il se réunit au courant qui longe la côte de Breskens et porte au N.O. jusqu'à Nieuwe Sluis. Au delà de Nieuwe Sluis, il est O.N.O. et passe dans toute l'étendue du canal au-dessus des bancs du Hompel et du Ribzand. Il se dirige vers l'entrée du Wielingen une heure environ avant la marée basse à Flessingue et se prolonge d'autant plus qu'on avance vers l'ouest.

<sup>(1)</sup> Stessels. *Description hydrographique de l'Escaut*.

<sup>(2)</sup> *Beschrijving behoorende bij de hydrographische kaart der zeegaten van de monden der Schelde, van A. Blommendal, kapitein ter zee. 1875.*



En ce qui concerne le Deurloo, le courant de flot, dirigé d'abord vers la côte des Flandres, commence à porter vers l'intérieur de cette passe deux heures avant la haute mer à Flessingue, pour tourner ensuite à l'est et au N.E. Le courant de jusant qui, au sortir de l'Escaut, court au N.O. et au N.N.O., s'y incline davantage vers le N. et passe au-dessus des bancs du Raan et de Zoutelande, jusqu'à une heure avant la marée basse à Flessingue. A partir de ce moment, le courant tourne à l'ouest, puis au sud et ce plus rapidement que dans le Wielingen; il y conserve en outre cette direction plus longtemps que dans ce dernier canal, ce qui peut être attribué à cette circonstance que la partie extérieure du Deurloo n'est pas limitée au sud par des bancs raides et élevés.

A l'intérieur de l'Escaut, comme à l'intérieur des fleuves en général, la propagation de la marée a lieu dans des conditions essentiellement différentes de celles qui accompagnent la marée de la mer. Nous en dirons quelques mots.

L'Escaut n'a en réalité pas de barre à son embouchure; le Deurloo y constitue la passe navigable la moins profonde et présente, à marée basse, 5<sup>m</sup>,50 d'eau dans ses parties les plus élevées; dans le Wielingen, la profondeur minimum n'est pas inférieure à 8 mètres. Le lit du fleuve offre d'ailleurs sur tout son parcours, depuis l'embouchure jusqu'à Anvers, des chenaux profonds, interrompus en divers points par des exhaussements du fond, mais dont le plus prononcé conserve encore 5<sup>m</sup>,80 d'eau à mer basse. L'onde marée doit donc pénétrer dans l'Escaut dès que le niveau de l'eau commence à monter au large de son embouchure; en se propageant vers l'amont, la force d'impulsion qu'elle a reçue de la mer lors de sa formation, et par conséquent le volume qu'elle embrasse, diminue sans cesse par suite des résistances qu'elle rencontre; cet affaiblissement est surtout sensible aux endroits du fleuve où il existe, dans la direction du mouvement de l'onde, des hauts-fonds ou des rives avancées qui s'opposent aux oscillations régulières de l'eau.

Les rétrécissements du lit, en même temps qu'ils réduisent l'amplitude de la marée en amont, provoquent une surélévation du niveau des pleines mers. On remarque fort bien pareil effet dans l'étranglement que le fleuve présente immédiatement au delà des larges espaces couverts par la haute mer devant Bath (Pl. V). Dans ces parages, l'amplitude de la marée atteint sa plus grande hauteur; elle diminue peu à peu vers l'amont où l'étiage des basses mers se relève et ce d'une manière très-prononcée au delà du passage du Callebeke.

D'après les chiffres des observations qui ont été faites en 1862 et 1863 par M. Stessels, le sommet de l'onde, en s'avancant vers la limite de la partie maritime de l'Escaut, se relève depuis Flessingue jusque près de Tamise; au



delà de Tamise, il subit un léger abaissement et se relève ensuite de nouveau jusqu'à Gand. La ligne des basses mers, qui varie beaucoup avec la situation des eaux du fleuve, s'abaisse moyennement depuis Flessingue jusqu'à Bath; puis elle se relève jusqu'à Tamise et plus rapidement encore depuis ce point jusqu'à Gand.

L'onde marée remonte aussi les affluents de l'Escaut : la Durme, le Rupel, la Dyle et les deux Nèthes.

Dès qu'elle commence à pénétrer dans le fleuve, elle imprime peu à peu à la surface de la partie aval de celui-ci une pente superficielle dirigée vers l'amont, et il se produit alors, en dehors du mouvement ondulatoire, un épanchement d'eau vers l'intérieur. L'onde marée s'avance dans ces mêmes conditions jusqu'à ce que la haute mer arrive à l'embouchure, et la partie dont elle se trouve engagée à cet instant dans le fleuve et qui s'arrête moyennement aux environs de Termonde, est entièrement parcourue par des courants dirigés dans le sens de sa marche, c'est-à-dire par des courants de flot <sup>(1)</sup>. Mais dans les marées fluviales, et contrairement à ce qui a lieu pour les marées de la mer, ces courants ne résultent pas seulement des transports de liquide nécessaires à la transmission du mouvement ondulatoire, mais aussi de la dénivellation qui s'établit à la surface des eaux à l'entrée du fleuve.

Pendant l'intervalle compris entre l'instant du plein et celui de l'étalement de flot à l'embouchure, intervalle qui est en moyenne de 50 minutes, les eaux de la mer continuent à s'introduire dans le fleuve et l'onde marée atteint alors, en général, son maximum de volume.

Après l'étalement de flot à l'embouchure, le jusant s'établit à l'aval du fleuve; la zone qu'il occupe reste limitée d'un côté par la mer, et elle s'étend évidemment de plus en plus vers l'intérieur à mesure que l'étalement de flot remonte le cours des eaux, pendant que le flot persiste dans la partie de l'onde marée située immédiatement en avant du point occupé par l'étalement, au moment que l'on considère. Quand la mer est basse à l'embouchure, elle est haute à Wetteren et toute la section inférieure de l'Escaut jusqu'à Uytbergen est occupée alors par les courants de jusant, lesquels se produisent exclusivement en vertu de la pente de surface existant vers l'embouchure; ces courants servent à écouler le volume des eaux dont l'onde marée diminue graduellement en marchant vers l'amont et dans lequel intervient nécessairement le débit des eaux supérieures. On comprend du reste que la situation de celles-ci, en modifiant la pente sur une longueur plus ou moins considérable de la partie maritime du fleuve, doit y influencer

(1) Stessels. *Des marées de l'Escaut*. — *Annales des Travaux Publics*, tome XXI.



aussi l'amplitude de la marée et principalement la durée respective du flot et du jusant. Quand les eaux sont basses, l'oscillation de l'onde atteint en moyenne 3<sup>m</sup>,00 d'amplitude à Termonde, 1<sup>m</sup>,60 à Wetteren et 1<sup>m</sup>,40 <sup>(1)</sup> à Gand, où elle est arrêtée par l'écluse de la Pêcherie; mais par de fortes crues, le flot ne dépasse pas Wetteren. L'effet de la hauteur des eaux d'amont sur la grandeur des marées se fait sentir jusque un peu en aval d'Anvers.

Le tableau suivant renseigne les principales données relatives à la courbe de marée, observée en divers points du fleuve. Les cotes de hauteur y sont rapportées au zéro d'Ostende.

LIEUX DES OBSERVATIONS.	Distances comptées suivant le thalweg.	Établissement.	Retard moyen de la marée sur l'heure du passage de la lune au méridien.			Cote du niveau moyen.	Unité de hauteur.	Amplitude moyenne de la marée.	Cote moyenne aux syzygies des		Cote moyenne des	
			hautes mers.	basses mers.					hautes mers.	basses mers.	hautes mers.	basses mers.
Flessingue . . . . .	kil.	h. m.	h. m.	h. m.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
» . . . . .	»	0 54	0 39	7 6	1,63	2,07	3,63	3,72	-0,42	3,463	-0,163	
Terneuzen . . . . .	20,6	1 35	1 26	7 59	1,68	2,24	3,93	3,92	-0,56	3,643	-0,283	
Bath. . . . .	52,0	3 4	2 47	8 56	1,77	2,44	4,35	4,21	-0,67	3,943	-0,403	
Anvers . . . . .	73,2	4 20	3 29	10 15	2,27	2,31	4,24	4,38	-0,04	4,390	+0,130	
Tamise. . . . .	96,3	»	4 13	11 31	2,56	2,13	3,98	4,69	+0,43	4,530	+0,370	
Termonde. . . . .	118,9	6 17	5 18	12 56	3,07	1,45	2,74	4,52	+1,62	4,440	+1,700	
Wetteren. . . . .	147,2	»	7 1	15 19	3,40	0,72	1,30	4,12	+2,68	4,030	+2,730	
Gand . . . . .	168,4	»	8 21	16 35	4,00	0,61	1,03	4,61	+3,39	4,513	+3,483	

A Flessingue, le flot dure en moyenne 5<sup>h</sup>47<sup>m</sup> et le jusant 6<sup>h</sup>37<sup>m</sup>; en remontant l'Escaut, les durées respectives de ces courants varient peu jusqu'à Tamise, mais plus loin les différences croissent rapidement, en amont du Rupel surtout. A Termonde, le flot dure moyennement 5<sup>h</sup>8<sup>m</sup> et le jusant 7<sup>h</sup>16<sup>m</sup>.

Le retard des étales de flot sur le plein de la mer est, en général, moins accentué dans les marées fluviales que dans celles de la mer. Il est en moyenne, pour l'Escaut, de 50 minutes à Flessingue, de 45 minutes dans la rade d'Anvers et de 35 minutes à Termonde.

Le jusant persiste également après l'heure de la basse mer, mais moins longtemps que le flot, par rapport à l'heure du plein; à Flessingue il finit 30 minutes après le bas de l'eau.

La durée des étales est d'ordinaire de 15 à 20 minutes.

Dans la rade d'Anvers, la vitesse maximum du courant de flot est de 1<sup>m</sup>,25 par seconde en moyenne et se produit 1<sup>h</sup>30<sup>m</sup> avant la marée haute; celle

<sup>(1)</sup> Tableaux de marées dressés pour la période décennale 1871-1880 par M. l'Ingénieur en Chef Troost.



du courant de jusant ne dépasse pas 1<sup>m</sup>,08 par seconde et s'observe d'ordinaire entre 4 et 5 heures avant la marée basse. La vitesse moyenne des courants est de 0<sup>m</sup>,75 par seconde pendant la durée du flot et de 0<sup>m</sup>,88 par seconde pendant la durée du jusant <sup>(1)</sup>.

L'influence exercée par les vents fait varier le niveau moyen du fleuve; la plus grande surélévation des eaux a lieu par les vents du N.N.O., lesquels arrivent à l'embouchure après avoir parcouru la plus grande étendue de mer libre; les vents du S.E. au S.S.E. produisent au contraire les plus fortes dépressions. L'amplitude de la marée n'est pas beaucoup changée par l'effet des vents; elle s'accroît légèrement par ceux de l'ouest au N.N.O. et diminue par ceux de l'E.N.E. au S.S.O., qui viennent de terre.

La courbe locale de la marée de vive eau que nous avons observée à Anvers le 27 Mars 1880, simultanément avec celles des ports de la côte des Flandres, est représentée pl. II. On remarquera que cette courbe ne présente plus, dans la partie correspondant à la montée de l'eau pendant les deux à trois premières heures qui suivent la marée basse, une forme sinusoïdale comme les courbes locales des marées de la mer; elle y prend une courbure entièrement convexe. Cette convexité semble exister dans toutes les courbes de marée du fleuve, et elle est d'autant plus allongée que le lieu des observations est situé plus en amont.

La vitesse moyenne de propagation du sommet de l'onde marée de l'Escaut est, en vive eau, d'un peu plus de 8 mètres par seconde entre Flessingue et Terneuzen, et de 5 1/2 mètres environ entre Terneuzen et Anvers; elle est donc beaucoup moindre que celle avec laquelle la marée progresse le long de la côte depuis Dunkerque jusqu'à Flessingue.

#### VIII. — DES VAGUES.

Avant de terminer le chapitre relatif aux mouvements de la mer, il nous reste à parler des vagues, dont l'action constitue un élément des plus importants dans les questions relatives aux travaux des ports et des côtes.

L'étude de la constitution des ondes et de leurs effets a occupé nombre de savants illustres, tant en France, qu'en Allemagne et en Angleterre; elle a donné lieu à des théories assez différentes, basées pour la plupart sur des considérations d'un ordre transcendant et au sujet desquelles nous ne pouvons nous étendre dans cet ouvrage. Nous nous bornerons à mentionner les caractères principaux du mouvement des vagues de la mer.

(1) L. Petit. *Étude sur les courants de l'Escaut.*



La surface des eaux marines est rarement calme; dès que le vent se lève, elle subit le frottement des masses d'air déplacées, et il se forme dans les couches supérieures de la nappe liquide, des ondulations désignées sous le nom de *lames* ou de *vagues*. De même que nous l'avons vu en parlant des ondes marées, les lames se propagent par communication de mouvement; elles ont pour effet principal de faire osciller, à leur passage, les molécules liquides, sans que celles-ci participent à leur vitesse de propagation.

Le plus souvent, les vagues se heurtent et se croisent, ou se superposent à des vagues préexistantes, de manière à présenter dans leur ensemble un aspect confus et qui change à chaque instant, à cause de la nature variable de la force qui les a fait naître. Même lorsque le vent reste constant de direction et d'intensité, il se forme, sur le versant de chaque vague, des ondulations secondaires dont l'amplitude va en augmentant, et qui finissent par se confondre avec l'ondulation principale; l'action prolongée du vent produit de même des ondes tertiaires et ainsi de suite. L'ondulation principale qui détermine dans ce cas la forme générale de la surface de la mer, résulte par conséquent de la combinaison de plusieurs ondes différentes, mais elle présente cependant dans son ensemble une certaine régularité.

Quant le vent cesse, l'eau n'est plus soumise qu'aux forces de la pesanteur et de l'inertie, ainsi qu'à celles provenant de l'adhérence des couches élémentaires liquides entre elles et qui ont pour effet d'éteindre peu à peu la force vive des molécules en mouvement; et, comme les oscillations disparaissent d'autant plus vite qu'elles ont moins d'amplitude, ces résistances intérieures détruisent d'abord les ondes secondaires, de sorte qu'au bout de quelque temps, on n'observe plus à la surface de la nappe marine qu'une ondulation principale très-régulière, dont les sommets et les creux se trouvent alternativement au-dessus et au-dessous du niveau moyen des eaux. Ce mouvement ondulatoire est désigné sous le nom de *houle*; il réalise très-sensiblement les conditions théoriques des ondes périodiques, dont la science a déterminé les principales lois de propagation, et se prête d'ailleurs à des observations suffisamment précises.

Pour les vagues ordinaires de la mer, il est difficile au contraire d'évaluer, avec une certaine approximation, les données qui déterminent sa forme et ses dimensions.

L'expérience montre que les dimensions et la vitesse d'une onde augmentent avec l'intensité du vent qui lui a donné naissance, et surtout avec la durée de cette action; elles croissent aussi avec la profondeur et avec l'étendue des mers. Les vents de tempête cependant, plus variables d'intensité et de direction, donnent des lames de volume et de vitesse moindres.



Dans la Méditerranée, les vagues soulevées par les grands vents ont de 3 à 4 mètres de hauteur entre la crête et le creux; elles atteignent rarement 5 à 6 mètres. M. Cialdi mesura en 1858 des ondes de 10<sup>m</sup>,25 de hauteur près d'Ouessant. D'après les observations du navigateur Scoresby, les fortes vagues de l'océan Atlantique ont moyennement de 6 à 9 mètres et peuvent s'élever exceptionnellement jusqu'à 13 mètres. Dans l'Atlantique du Sud, l'élévation des vagues atteint des dimensions plus considérables encore; mais 14 mètres de crête en creux paraît être la plus grande hauteur qu'on ait jamais rencontrée. Ajoutons toutefois que les vagues de 6 à 8 mètres ne sont pas fréquentes et que celles de plus de 12 mètres sont tellement rares, que peu de marins ont eu l'occasion d'en voir.

Le rapport de la hauteur des vagues de la mer à leur longueur, c'est-à-dire à la distance qui sépare deux creux successifs, est très-variable. Pour des vagues de quelques mètres de longueur, relevées dans la mer d'Irlande avec le trace-vagues de M. Pâris, ce rapport atteint 0.16. Il était de 0.127 pour des ondulations de 100 mètres de longueur, observées près du cap de Bonne-Espérance et se réduisait à 0.065 sur des vagues de 150 mètres de longueur mesurées par M. Cialdi, et à 0.052 sur des vagues de 170 mètres de longueur mesurées par M. Scoresby.

Mais le rapport de la hauteur à la longueur des ondulations paraît diminuer moins rapidement avec les dimensions de la houle que ne l'indiquent les chiffres qui précèdent. C'est ce que M. Bertin a conclu du classement d'un grand nombre d'observations recueillies par M. Pâris, classement d'après lequel la décroissance de l'inclinaison des vagues, quoique continue, n'augmente que fort peu avec la longueur des houles (<sup>1</sup>).

Ce rapport est sensiblement plus élevé sur des vagues en voie de formation que sur les houles, et il ne peut dépasser une certaine limite, à partir de laquelle des déferlements se produisent à la crête des ondulations; on voit alors au large et par de grandes profondeurs des flots blanchissants et on dit que la *mer moutonne*.

Le maximum de hauteur des vagues de la mer correspondant à une longueur donnée dépend de l'action du vent sur l'eau et ne peut être déterminée que par l'observation. Il est bien inférieur à la limite qui a été fixée par le calcul pour les ondes théoriques se propageant dans des eaux profondes, et qui découle des lois physiques auxquelles les liquides sont soumis dans leur mouvement;

(<sup>1</sup>) *Revue coloniale et maritime* année 1874. Tome XI.



cette limite est donnée par l'inégalité  $\frac{\pi h}{L} < 1$  ou  $h < \frac{L}{\pi}$ , en appelant  $h$  la hauteur et  $L$  la longueur de l'onde, de sorte que la plus grande hauteur que puisse prendre une ondulation, ne peut dans aucun cas dépasser le tiers environ de sa longueur.

D'après M. de Bénazé, la forme de la surface libre des vagues est ordinairement une trochoïde, courbe intermédiaire entre la sinusoïde et la cycloïde; elle prend l'allure d'une sinusoïde, quand la hauteur de l'ondulation est très-faible par rapport à sa longueur, et elle devient une cycloïde lorsque cette hauteur atteint la limite pour laquelle le déferlement commence à se produire.

En observant les vagues avec attention, on constate d'ailleurs que leur saillie au-dessus du plan moyen de l'eau est toujours un peu plus prononcée que leur creux en dessous de ce plan.

La vitesse  $V$  de propagation des ondes périodiques dans des eaux de grande profondeur est donnée par la relation :

$$V = \frac{g}{2\pi} T,$$

$T$  étant la durée de l'oscillation ou le temps qui s'écoule entre le passage de deux sommets ou de deux creux successifs en un même point, et comme  $L = VT$

$$V = \sqrt{\frac{g}{2\pi} L} \text{ et } L = \frac{g T^2}{2\pi}.$$

Cette dernière formule, dont l'exactitude a été vérifiée par de nombreuses observations, notamment par celles de Pâris, de Scoresby et de Wilkes, fait voir que dans le phénomène de la houle, la longueur des vagues reste constante à mesure qu'elles s'éloignent du point de départ, tandis que la hauteur va en diminuant; le nombre des oscillations qui passent en un point dans un temps donné, doit en effet être invariable et égal au nombre de celles produites au centre d'action;  $T$  reste donc constant et il en est de même pour  $L$ , qui dépend uniquement de  $T$ .<sup>(1)</sup>

La durée des grandes vagues de la Manche et de la Méditerranée paraît varier de 4 à 9 secondes, et correspondrait à une longueur d'ondulation de 25 à 60 mètres et une vitesse de propagation de 6 à 14 mètres par seconde. Dans les mers étendues, on a observé plusieurs fois des houles ayant jusqu'à 600 mètres de longueur totale et 20 secondes de durée; les vagues les plus considérables qui aient été signalées et que l'on peut considérer comme une limite extrême, mesuraient 900 mètres environ de longueur totale et avaient une durée de 24 secondes.

<sup>(1)</sup> E. Bertin. *Les vagues et le roulis*.



Dans les mers soumises à des vents réguliers, les vagues ont une durée sensiblement déterminée, qui dépend de la vitesse du vent; les données moyennes recueillies à ce sujet par M. Pâris, dans les principales mers du globe, sont les suivantes :

Alisés de l'Atlantique	2 <sup>h</sup> 90
Atlantique sud (région des vents d'ouest)	4 <sup>h</sup> 75
Mer des Indes sud (région des vents d'est)	3 <sup>h</sup> 80
Alisés de la mer des Indes	3 <sup>h</sup> 80
Mers de la Chine et du Japon	3 <sup>h</sup> 45
Pacifique ouest	4 <sup>h</sup> 10

Tandis que les ondulations de la houle ne sont animées que d'un mouvement d'oscillation, les vagues qui se propagent en pleine mer sous l'action des vents violents, semblent subir, indépendamment de ce mouvement, un transport de masse, mais qui n'est plus guère sensible dès que le vent devient modéré. M. Cialdi, dans son ouvrage sur les vagues de la mer, attache à ce transport de masse liquide, qu'il désigne sous le nom de *flot courant au large*, une grande importance. « Le vent, dit-il, s'incarne pour ainsi dire dans l'eau; il prend la « forme de l'onde et passe dans elle; il la précipite et, par choc, par pulvérisation et par frottement, la force à couler dans le sens où elle se propage. » <sup>(1)</sup>

Des idées analogues sur la solidarité qui existerait entre les vents et les vagues ont été émises par le géologue de la Bèche et elles ont été partagées par plusieurs savants qui se sont spécialement occupés de l'étude de cette question, notamment par M. de Tesson et par M. Brighenti. Ce dernier s'exprima en ces termes dans une brochure publiée en 1859 : « Nos navigateurs, maintes et « maintes fois interrogés par moi, assurent que par de fortes tempêtes, les vagues « se meuvent dans le sens du vent dominant et sont transportées en partie par « le vent même, en partie par le courant auquel il donne naissance. Ces deux « effets, il me semble, ne peuvent manquer de se produire. »

M. Cialdi pose en fait que les marins doivent tenir compte, dans le calcul de l'estime de leurs navires, de l'élément de transport dû aux lames, lequel varie avec la force et la durée du vent et peut dépasser avec des vents furieux et continus, quatre milles et plus à l'heure.

La constitution des ondes a été expliquée différemment. Newton assimilait leur mouvement aux oscillations que prendrait l'eau dans un siphon renversé à deux branches verticales, l'amplitude de l'oscillation variant depuis zéro jusqu'à la hauteur des vagues et la distance des branches verticales étant égale à la demi-

<sup>(1)</sup> Cialdi. *Du mouvement ondulatoire de la mer.*



longueur de celles-ci. C'est le principe de la théorie du siphonnement, d'après lequel on admettait que, dans la propagation des ondes, les molécules liquides ne font que monter et descendre, et que ce n'est qu'à la limite inférieure de l'agitation des eaux que leur mouvement vertical est transformé en un mouvement horizontal, établissant la communication entre les eaux déprimées dans l'une des branches du siphon et surélevées dans l'autre.

La comparaison du mouvement de l'eau dans les ondes avec les oscillations de l'eau dans des siphons a soulevé de nombreuses objections, cette hypothèse ne pouvant subsister avec les lois générales du mouvement des liquides. La théorie admise aujourd'hui est celle du mouvement orbitaire, due au colonel Emy et dans laquelle les molécules d'eau sont considérées comme étant animées de mouvements orbitaires simples ou complexes, dont les croisements forment les surfaces apparentes des vagues. Pour une même onde et pendant le temps qu'elle met à avancer d'une quantité égale à sa longueur, chaque molécule liquide décrit une courbe fermée, cercle ou ellipse; les molécules supérieures se meuvent suivant des courbes voisines du cercle; les molécules situées plus bas décrivent des ellipses dont le diamètre vertical diminue à mesure qu'on descend, et celles de la région où se termine l'agitation, ne sont plus animées que d'un mouvement d'oscillation suivant une ligne horizontale.

Cette théorie est très-plausible. On se rappelle en effet que, dans les ondes d'oscillation en général, les molécules d'eau sont sollicitées, au passage des ondulations, à subir un mouvement horizontal, dirigé alternativement dans le sens de la marche de l'onde et dans le sens opposé; ces molécules sont soumises en même temps à des déplacements verticaux, dirigés dans chaque tranche de bas en haut pendant que la hauteur de l'eau y augmente au passage de l'ondulation, et de haut en bas pendant que la hauteur de l'eau y diminue, et l'on comprend que la combinaison de ces deux actions sollicitantes donne naissance à des mouvements orbitaires. Ces derniers ont d'ailleurs été constatés par les frères Weber et par Scott Russel dans un canal à parois vitrées, où ils avaient reproduit, en petit, le phénomène des vagues avec de l'eau renfermant des corpuscules en suspension.

Une question d'hydraulique maritime qui a été l'objet de beaucoup de discussions et de controverses, consiste à savoir à quelle profondeur l'agitation produite par les vagues peut se faire sentir au-dessous de la surface libre de l'eau; question importante du reste au point de vue de l'action que ces ondulations peuvent exercer sur les matériaux formant le fond de la mer.

Il est hors de doute que l'amplitude du mouvement des ondes soulevées



par le vent décroît rapidement à mesure que l'on descend vers les couches inférieures de la nappe liquide; on admettait autrefois que ce mouvement n'est plus appréciable à 8 ou 10 mètres de profondeur, mais de nombreuses observations ont démontré qu'il s'étend au delà. D'après les expériences de M. le Professeur Aimé, à Alger, l'agitation ne s'éteint complètement au large, pour des lames de 3 à 4 mètres de hauteur, qu'à 40 mètres en dessous de la surface. L'appareil dont M. Aimé fit usage se compose essentiellement d'une lame de plomb que l'on descend dans la mer, et à laquelle est attachée, par une ficelle très-mince, une espèce de toupie un peu plus légère que l'eau et munie au pourtour de sa plus grande section circulaire, de pointes en métal dur. Lorsque l'appareil est convenablement manœuvré, la toupie se tient verticalement au-dessus de la lame de plomb tant que l'eau est calme, mais à la moindre agitation elle s'incline et les pointes dont elle est garnie, indiquent ce mouvement sur le plomb par les empreintes qu'elles y produisent.

M. Cialdi soutient que l'effet des vagues de la mer se transmet à des profondeurs plus considérables encore; il cite à ce sujet les observations des navigateurs qui ont vu fréquemment, dans la Méditerranée, dans l'Adriatique et dans la Manche, des ondes se briser à la surface au-dessus d'écueils situés à 30 mètres sous le niveau de la nappe marine. Sur le banc de la Case notamment, qui se trouve entre les îles de Corse et de Minorque, à 23 mètres de profondeur, un navire aurait reçu, par des coups de vent, des lames chargées de sable provenant du fond. M. Cialdi est convaincu que les grandes vagues conservent assez de force au-dessous de la surface de la mer pour remuer le sable sur des fonds recouverts de 40 mètres d'eau dans la Manche et dans l'Adriatique, et de 50 mètres d'eau dans la Méditerranée. En plein océan, ce phénomène se produirait par des profondeurs de 150 à 200 mètres; l'auteur cite, comme preuve, ce fait remarquable que, sur le banc des Aiguilles, au cap de Bonne-Espérance, l'eau présente une couleur trouble pendant les tempêtes et même lorsque le vent s'est déjà calmé, et il en attribue la cause à l'action exercée par les vagues sur le fond de ce plateau, qui se trouve à 200 mètres sous le niveau des eaux.

L'opinion de M. Cialdi n'a pas laissé que de soulever des doutes dans l'esprit de bien des ingénieurs, à qui il semble difficile d'admettre que les vagues de la mer, même quand elles sont très-puissantes, puissent transmettre leur agitation aux couches liquides inférieures au point de soulever, à de pareilles profondeurs, les matériaux du fond; d'après eux, les troubles observés au banc des Aiguilles peuvent fort bien résulter de courants sous-marins ou de toute autre cause de nature à mettre en mouvement les eaux de la partie profonde de la



nappe marine. Elle compte d'autre part des défenseurs parmi lesquels nous citerons M. Cornaglia, Ingénieur en Chef du Génie civil.

Ce savant, en recherchant par l'analyse les effets qui se produisent dans le mouvement des ondes à cause de l'inclinaison du fond, est arrivé à une série de conclusions dont voici les principales :

« Il se forme le long du fond un flot dirigé alternativement dans le sens  
« de la propagation des ondes et dans le sens opposé. Le premier de ces  
« mouvements ou le *flot de fond direct*, correspond en général à la partie convexe  
« de l'onde ; le second ou le *flot de fond inverse*, correspond à la partie concave.

« Dans le cas où le fond s'élève, le flot direct est montant et il est  
« descendant quand le fond s'abaisse ; le contraire a lieu pour le flot inverse.

« *L'énergie du flot peut être grande, même à de grandes profondeurs.*

« Le flot montant tend à prévaloir de plus en plus sur le flot descendant  
« à mesure qu'on avance dans le sens de la marche des ondes ; cette tendance  
« a lieu pour le fond ascendant comme pour le fond plongeant, mais elle est  
« plus rapide pour le premier que pour le second.

« Dans le voisinage de la rive, le flot direct a la prépondérance.

« La composante du poids des corps exposés au flot, parallèle au fond,  
« paralyse, et même surpasse plus ou moins la prépondérance d'un flot sur  
« l'autre.

« Les flots agissent sur les corps placés sur le fond comme à coup de  
« bélier. Le chemin que les corps parcourent, est en forme de dents de scie.

« Les points où, par une cause quelconque, les flots montants et les flots  
« descendants se contrebalancent suivant la ligne de plus grande pente du fond,  
« constituent sur celui-ci une *ligne neutre*.

« La ligne neutre occupe différentes positions selon l'amplitude et la direction  
« des ondes, la situation des côtes et la configuration des fonds marins, et selon  
« les matériaux dont ceux-ci sont formés.

« Sous l'action des ondes, les corps sur la ligne neutre peuvent marcher  
« le long de cette ligne, sans monter ni descendre, en se maintenant sur le  
« fond. Du côté de la rive par rapport à la ligne neutre, les corps se trouvent  
« jetés à la côte ; du côté du large au contraire, ils sont entraînés vers les  
« grandes profondeurs. » <sup>(1)</sup>

M. Cornaglia explique le fait de la stabilité relative constatée par l'expérience dans les fonds de sable situés devant les côtes ouvertes de la Méditerranée

<sup>(1)</sup> Cornaglia. *Du flot de fond dans les liquides en état d'ondulation. Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1881.



à la profondeur d'une dizaine de mètres à peine sous le niveau de la mer, par la circonstance que sur ces plages sous-marines, la ligne neutre qui correspond aux plus fortes bourrasques ne descend pas plus bas. Il en résulterait que la contradiction qui existe entre ce fait et la théorie de la transmission de l'action des vagues à de grandes profondeurs, ne serait qu'apparente.

Le colonel Emy attribuait également aux flots de fond qui accompagnent les grandes vagues, des effets puissants; mais il n'admettait leur existence qu'au-dessus d'un accore voisin des côtes et expliquait leur formation comme suit : Lorsque l'ondulation interne  $abcdef$  est tangente à un exhaussement du fond AB, toutes les molécules placées au-dessus du plan  $oo'$ , ont suffisamment d'espace pour décrire leurs trajectoires orbitaires, mais il n'en est pas de même pour celles qui sont placées en dessous de ce plan (Pl. II, fig. 6). Ces molécules ne participent plus au mouvement général de l'ondulation; elles forment une série de bourrelets correspondant aux segments,  $bcd$ ,  $def$  et qui sont forcés de se déplacer sans changer de forme, dans le sens de la marche de l'onde, par suite de la pression exercée par les molécules qui descendent sur les flancs  $bc$ ,  $de$ , pour aller occuper les espaces laissés libres par les molécules qui s'élèvent au-dessus des flancs  $cd$ ,  $ef$ .

Cette théorie est en contradiction avec différents faits de l'observation, parmi lesquels nous mentionnerons les deux suivants, cités dans le mémoire de M. Cornaglia :

Suivant Emy, les flots de fond marcheraient constamment vers le rivage; les matières soulevées par les vagues se trouveraient par conséquent toujours entraînées dans cette direction et l'on ne saurait dès lors se rendre compte comment la mer peut amaigrir certaines plages et y envahir la côte.

Les bourrelets, dont le mouvement constitue les flots de fond, avanceraient avec les ondulations de la surface et ils auraient la même vitesse horizontale, quelles que soient la distance parcourue à partir du ressaut qui leur a donné naissance et la profondeur existant au point considéré, de sorte que l'intensité et les effets du flot ne changeraient pas sensiblement avec la configuration du fond, ce qui est contredit par l'expérience.

Sans nous arrêter davantage à la question concernant la profondeur limite à laquelle se fait sentir l'effet des vagues, question dont la solution ne paraît du reste pas encore avoir acquis un grand degré de certitude, ajoutons que, sur la côte des Flandres, les plus fortes lames sont soulevées par les vents du N.O. au N.N.O. et atteignent quelquefois, au dire des pêcheurs et des pilotes, 3 à 4 mètres de hauteur depuis le creux jusqu'à la crête. Or, en étudiant au



moyen des anciennes cartes marines les changements survenus, depuis environ trois quarts de siècle, dans les bancs et les passes qui précèdent ce littoral, nous avons acquis la conviction que les vagues de gros temps n'y conservent plus assez d'action, au delà des profondeurs de 8 à 10 mètres, pour opérer des déplacements importants dans les sables de la terrasse sous-marine; mais il est hors de doute qu'elles remuent les fonds de vase et de sable vasard par des profondeurs plus considérables. (1)

Lorsque les ondulations venues du large remontent le plan incliné qui s'étend au pied du rivage et où le défaut de profondeur ne permet plus leur libre développement, on voit qu'elles se déforment en avançant; leur hauteur augmente peu à peu en même temps que leur longueur diminue, jusqu'à ce qu'elles replient en avant et se brisent pour venir déferler sur la plage. En s'étalant, la lame perd progressivement sa vitesse et, quand elle est arrivée à l'extrémité de sa course, elle redescend, reprend une certaine vitesse et va frapper, au pied, la nouvelle lame qui arrive; celle-ci grossit à la rencontre, et, comme les molécules d'eau qui la composent, éprouvent des résistances moindres à sa partie supérieure, elle prend une forme plus aiguë encore et s'enroule en volute pour se briser ensuite à son tour. On observe aussi que périodiquement une lame s'étale plus haut que les autres, ce qui semble pouvoir être attribué à ce que les vagues qui se brisent successivement, sont combinées avec les ondulations d'une houle ayant une amplitude notablement plus grande; les lames qui correspondent aux sommets de ces ondulations, doivent ainsi recevoir une impulsion plus prononcée et se reproduire périodiquement.

Un fait important à noter, c'est que dans le voisinage des côtes, où par suite du manque de profondeur les vagues gagnent en hauteur, et ce d'autant plus qu'elles approchent du rivage, le vent leur imprime un transport de masse, qui est nettement accusé; l'influence résultant de l'inclinaison du fond sur les ondulations en mouvement y produit d'ailleurs une tendance de transport dirigée dans le même sens, et à laquelle vient s'ajouter encore la poussée de l'eau qui s'étale sur la grève, au moment du déferlement de la lame.

Quant à la lame en retour, sa vitesse de descente sur le plan incliné de la plage s'accélère d'abord, jusqu'à ce que les résistances résultant principalement des frottements sur le fond et de la pression de l'air soient devenues supérieures à la composante de la gravité; puis elle se ralentit et ce plus rapidement lorsque la lame, à la rencontre des nouvelles vagues qui suivent, éprouve les résistances de cette masse liquide, au milieu de laquelle elle s'éteint.

(1) Voir chapitre IV.



On comprend que les vagues qui se meuvent dans les zones attenant aux rivages, et dont l'action se combine avec celle des lames en retour auxquelles elles donnent lieu, doivent occuper une place importante parmi les causes qui déterminent le maintien ou les modifications des plages. Les effets qu'elles produisent sous ce rapport varient évidemment avec les gisements des côtes, avec l'inclinaison des estrans et avec les dimensions et le poids spécifique des matériaux dont ceux-ci sont formés; ils sont très-différents aussi selon qu'il s'agit de vagues se propageant sous l'influence de vents modérés ou de celles soulevées par les tempêtes et qui, après avoir heurté avec violence le talus du rivage, produisent des jets d'eau et des lames en retour d'une grande puissance.

Lorsque, par des vents impétueux, les vagues rencontrent un écueil sous-marin ou une côte abrupte, elles se raccourcissent et se surélèvent presque instantanément, et les jets d'eau qu'elles lancent, en se brisant par l'effet des flots de fond, atteignent dans certains cas des hauteurs considérables. On en a vu au phare de Bell-Rock, établi sur un rocher du littoral d'Ecosse, qui s'élevaient à plus de 30 mètres au-dessus du niveau de la mer; au phare d'Eddystone, sur la côte de Cornouailles, les eaux sont lancées parfois à une hauteur de 50 mètres.

Pour apprécier la force que les vagues sont capables de développer, on ne peut que se baser sur les résultats de l'observation. Les expériences faites par l'ingénieur Thomas Stewenson, près de Tirree et de Serryvor, sur la côte ouest de l'Ecosse, avec un appareil spécial de son invention, ont donné comme pression moyenne des lames de tempête environ 3000 kilogrammes par mètre carré; mais dans quelques cas isolés, il a observé des efforts beaucoup plus grands, dont un de 16732 kilogrammes au phare de Bell-Rock et un autre de 30415 kilogrammes par mètre carré à l'île de Serryvor.

M. l'Ingénieur Leferme a également cherché à déterminer la valeur de l'effort maximum des vagues de la mer, à l'occasion d'un accident survenu pendant la tempête du 8 Janvier 1867 à la tour-balise du Petit-Charpentier, établie à l'embouchure de la Loire; il est arrivé à des résultats assez semblables à ceux de Stewenson et qui permettent de conclure que si l'effort maximum des lames de gros temps ne dépasse d'ordinaire pas 3000 à 4000 kilogrammes par mètre carré, il peut cependant s'élever exceptionnellement à des valeurs beaucoup plus considérables et atteindre jusqu'à 30000 kilogrammes. <sup>(1)</sup>

Dans les constructions à la mer, il importe non seulement de tenir compte de l'action des vagues au point de vue des efforts considérables qu'elles peuvent

<sup>(1)</sup> *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1869.



exercer sur les ouvrages exposés directement aux flots, mais on doit en outre, lorsqu'il s'agit de travaux destinés à l'établissement ou à l'amélioration de ports de mer, rechercher quelles sont les meilleures dispositions à adopter pour éviter que les lames ne créent, à l'intérieur de ces derniers, des embarras ou des entraves pour la navigation.

Ainsi, lorsque la houle pénètre trop librement dans les avant-ports, elle y occasionne souvent des intumescences dangereuses pour le stationnement des navires; et quand elle vient s'y heurter contre un obstacle à paroi verticale ou inclinée, tel qu'un mur de quai, elle donne lieu aussi à des ressacs, résultant de ce fait, que la lame, après s'être élevée près de l'obstacle, descend de nouveau avec une vitesse croissante et produit à la surface de l'eau un creux qui est remplacé aussitôt par une nouvelle intumescence, laquelle se surélève et descend à son tour. Ce clapotement de l'eau, lorsqu'il est intense, constitue un grave inconvénient pour les navires de faibles dimensions et surtout pour les embarcations, qui sont ballottées alors dans tous les sens. Ensuite les vagues, en venant frapper obliquement un ouvrage ou un obstacle quelconque, subissent le phénomène de la réflexion, en obéissant plus ou moins à la loi de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion, tant que ces angles ne sont pas trop aigus; il faut donc, dans chaque cas, examiner avec attention si le tracé, adopté pour l'ensemble des parties constitutives d'un port, est choisi de façon que les lames réfléchies puissent le moins possible, par leur propagation ou par leur croisement avec les lames incidentes, causer de l'agitation ou des ressacs, en des endroits où ceux-ci seraient nuisibles ou dangereuses pour les navires.

---



## CHAPITRE II.

### DES CÔTES ET DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD. — MARCHÉ DES ALLUVIONS.

---

#### I. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CÔTES DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD.

Les côtes de la Manche, du Pas-de-Calais et de la mer du Nord, comme les côtes de la mer en général, peuvent être classées, au point de vue de leur conformation, en deux types bien distincts : les côtes rocheuses et les côtes basses.

Les côtes rocheuses sont formées par des massifs montagneux et des falaises plus ou moins élevées, dont les profils accidentés se dessinent nettement sur l'horizon et sont faciles à reconnaître. Les parties saillantes ou caps et les sommets les plus élevés servent d'*amers*, c'est-à-dire de points de repère pour la navigation. Ainsi le cap Gris-Nez annonce aux marins l'entrée du Pas-de-Calais ; les roches escarpées d'Aurigny et d'Ouessant signalent l'ouverture de la Manche. Ces côtes ont d'ordinaire une inclinaison en rapport avec celle des versants auxquels elles appartiennent et sont par conséquent profondes et accores. Le long des contrées froides, elles sont coupées par des échancrures nombreuses, disposées suivant une série de golfes ramifiés ou *fjords*.

On désigne sous le nom de côtes basses, celles qui sont formées par des atterrissements sablonneux ou limoneux, ou par des terrains stratifiés sous de faibles inclinaisons. Elles présentent, en projection horizontale, des lignes courbes régulières et quelquefois des lignes droites, et coupent le niveau de la nappe marine par des pentes qui sont généralement très-douces ; la mer y est donc peu profonde et l'estran, c'est-à-dire la zone qui découvre à marée basse, très-développé.

Lorsqu'on parcourt la rive de la Manche située du côté du continent, en partant de la pointe d'Ouessant, on rencontre en premier lieu les côtes de la Bretagne qui, d'Ouessant au Grouin, sont surtout granitiques et dont les roches escarpées présentent en plan des découpures profondes ; elles s'avancent dans la



mer en caps, en îles détachées et en pointements isolés, qui résistent de temps immémorial aux assauts des vagues. La côte rocheuse s'infléchit entre le Grouin et Granville de manière à raccorder, par une courbe de 10 kilomètres de rayon, le littoral de la Bretagne avec celui du Cotentin; les principales saillies y sont formées de granit, à l'exception du roc de Granville, composé de schistes métamorphiques lesquels constituent en réalité les roches dominantes de cette partie de la côte. (Pl. III).

La ligne littorale présente des aspects moins rocheux depuis Granville jusqu'au cap Carteret, et des dunes s'y sont formées en plusieurs points. Plus loin on trouve les falaises schisteuses et granitiques de Flamanville et de la Hague, qui se maintiennent jusqu'à Barfleur. Au delà de Barfleur, la côte du Cotentin devient déjà calcaire, mais ces calcaires n'y forment qu'une simple couche superposée aux roches de transition. Vient ensuite la plaine des Weys qui interrompt les côtes rocheuses sur une largeur d'environ 10 kilomètres et n'est autre chose qu'une ancienne baie comblée par les alluvions.

A partir de l'estuaire des Weys jusqu'à Arromanche, la côte est bordée de falaises composées de calcaires jurassiques inférieurs qui s'étendent sous la mer suivant une pente très-faible; le littoral n'y est donc pas accore; mais on trouve une dépression devant Port-en-Bessin, où le fond rocheux disparaît sous une couche d'argile et de sable vaseux. Au delà d'Arromanche apparaissent les roches du Calvados qui commencent par la *Tête du Calvados* et se terminent par les écueils des *Essarts*, vis-à-vis de Langrune. Elles forment un plateau sous-marin ou banc calcaire, attenant au rivage et ayant plus de 3 kilomètres de largeur. La surface de ce plateau a fort peu d'inclinaison et présente plusieurs fosses plus ou moins profondes, ainsi que des parties saillantes, dont quelques-unes émergent à marée basse.

De l'embouchure de l'Orne à celle de la Dive, on se trouve en présence d'un estuaire remblayé par les alluvions et bordé par un bourrelet de dunes. On rencontre plus loin, jusqu'à Honfleur, des falaises très-élevées et de nature argileuse, ce qui leur donne une teinte sombre et des contours arrondis; elles sont formées à leur partie supérieure de calcaires crétacés glauconieux reposant sur des argiles, superposées à leur tour à des grès et des sables, et présentent vers la base des couches marneuses et calcaires de l'étage jurassique supérieur.

L'aspect des falaises qui s'étendent au nord de l'embouchure de la Seine et qui terminent, au rivage, les hautes terres de la plaine de Caux, est tout différent. Ce sont des falaises crayeuses escarpées, d'une blancheur éclatant au soleil; le cap la Hève, qui en forme la pointe sud-ouest, s'élève à plus de



100 mètres au-dessus du niveau de la mer et est taillé à pic depuis son sommet jusqu'à la moitié de sa hauteur.

Le terrain crétacé de toutes les falaises depuis le cap la Hève jusqu'au bourg d'Ault, est composé de dépôts calcaires stratifiés régulièrement les uns sur les autres suivant des couches très-multiples, d'un parallélisme remarquable. Il est probable que ces dépôts présentaient primitivement des surfaces sensiblement horizontales, mais que des perturbations, postérieures à leur formation, y ont provoqué des soulèvements; l'existence des failles ou cassures que l'on remarque en plusieurs endroits, entre autres à Fécamp, semblent confirmer cette opinion. Parmi ces failles, il en est qui occupent toute l'épaisseur du terrain et où une même couche se trouve dans la partie fracturée à deux niveaux différents. Le soulèvement général des dépôts se dessine de l'est à l'ouest; ainsi la craie blanche, étage supérieur, se maintient de Dieppe à Etretat; la craie marneuse, étage moyen, se dégage vers le cap d'Antifer et se trouve à la partie supérieure des falaises entre Heuqueville et Octeville; en ce dernier endroit, la craie glauconieuse occupe déjà la partie inférieure de la falaise et est supportée par le gault, lequel monte d'environ 40 mètres jusqu'au cap la Hève. <sup>(1)</sup>

Au delà du bourg d'Ault jusqu'à Equihen, la côte est plate et encombrée par les sables; elle comprend les baies de la Somme, de l'Authie et de la Canche, et présente de vastes estrans bordés de dunes.

On arrive ensuite à la côte du Boulonnais, formée par un soulèvement des terrains jurassiques et crétacés, dont les falaises atteignent des hauteurs de plus de 100 mètres; les plus avancées en mer sont les caps Blanc-Nez et Gris-Nez, ainsi nommés parce que le premier est composé de craie blanche, et le second de craie glauconieuse, de couleur plus sombre.

A l'est des relèvements crétacés du Blanc-Nez et de Sangatte s'étendent les alluvions quaternaires du delta de l'Aa, limitées du côté de la mer par des estrans sablonneux, avec des chaînes de dunes plus ou moins larges; celles-ci se prolongent jusqu'à l'entrée de la mer du Nord, et à partir de cette région, sur toute l'étendue du littoral de la Belgique et de la Hollande, on ne rencontre plus que des côtes basses d'alluvions, offrant partout le même caractère, et interrompues seulement par les vastes estuaires de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin.

Si l'on passe aux rives de la Manche et de la mer du Nord, formées par l'île de la Grande-Bretagne, en commençant par la côte sud d'Angleterre, on remarque, en général, que les terrains qui constituent cette côte ont beaucoup d'analogie avec ceux de la côte nord de France.

(1) A. Burat. *Voyages sur les côtes de France.*



Le long du Cornouailles on rencontre, aux environs de Lands-End, des roches granitiques rappelant celles de la Bretagne où s'intercalent des Trapps feldspathiques, et plus loin, le Vieux Grès Rouge du terrain dévonien. Ce dernier se maintient jusqu'à Paington, au delà de l'embouchure du Dart, mais il est interrompu, de Pradanack à Saint-Keverne, par le Greenstone et le basalte, et de Gull-Rock à Black-Head, comme aussi de Bolt-Tail à Start-Point, par le terrain silurien inférieur. <sup>(1)</sup>

A l'est de Paington jusqu'à Bridport apparaissent successivement le Nouveau Grès Rouge, la Nouvelle Marne Rouge du trias et les diverses roches du lias, sauf de Sidmouth à Beer-Head, où l'on trouve le Grès Vert supérieur (*Upper Greensand*) et le gault du terrain crétacé supérieur.

Entre Bridport et Durlstone-Head, comme à la presqu'île de Portland, se montrent les roches de l'oolithe inférieure, de l'oolithe moyenne et de l'oolithe supérieure, et plus loin jusqu'à Bognor, les sables siliceux formant les couches de Bagshot et de Bracklesham du terrain éocène moyen. Ce dernier est interrompu en face de l'île de Wight par l'éocène supérieur, lequel se retrouve également dans toute la partie septentrionale de cette île.

A partir de Bognor, apparaissent les couches crayeuses du terrain crétacé supérieur, puis les sables de Hastings qui se terminent à Fairlight. Le long de cette partie de la côte, les falaises sont interrompues par quelques dépressions normales au littoral, correspondant aux vallées de l'Arun, de l'Adur, de l'Ouse, de la Cuckmeere, et à la plaine de Pevensey, où l'on trouve partout des dépôts d'alluvion.

Immédiatement à l'est de Fairlight, il existe encore une grande étendue de terrain plat d'alluvion, le *Romney-Marsh*, dont l'extrémité sud-est forme la pointe de Dungeness et qui se termine à Hythe.

Passé ce dernier endroit, on rencontre le Grès Vert inférieur et ensuite les falaises de craie de la côte de Douvres. Celles-ci s'abaissent à partir de South-Foreland, pour disparaître près du château de Walmer.

De Sandwich à Ramsgate, la côte est basse et sablonneuse.

Les falaises crayeuses se montrent de nouveau vers le cap de North-Foreland et s'étendent sur la rive sud, à l'entrée de la baie de la Tamise, jusqu'à Reculver. A l'intérieur de cette baie apparaissent les terrains éocènes inférieurs : l'argile de Londres, l'argile plastique et les sables de Thanet, ainsi que du terrain d'alluvion.

En remontant vers le nord, on a les couches coquillières connues sous le

(1) Voir la carte géologique de l'Angleterre et du pays de Galles, par Andrew C. Ramsay.



nom de *Crag de Suffolk* et puis, jusqu'à la baie du Wash, des falaises de craie.

Sur la rive est de cette baie, on trouve le Grès Vert supérieur et l'oolithe supérieure; à l'ouest et au sud, le Wash est limité par des côtes basses d'alluvion, et il est encombré de bancs de sable.

Le terrain d'alluvion se maintient jusqu'à Bridlington, situé au delà de l'embouchure de l'Humber.

Entre Bridlington et Hartlepool, on retrouve la craie, les trois couches de l'oolithe et les roches du lias et du trias; à partir de cette dernière localité, apparaissent successivement le calcaire magnésien du terrain permien et les diverses couches du terrain carbonifère.

Une particularité à noter, c'est qu'il existe une parfaite conformité entre la côte de Calais et celle de Douvres; les terrains situés de part et d'autre du détroit présentent les mêmes conditions de composition géologique et de structure. Aussi les géologues sont-ils généralement d'accord pour admettre que le Pas-de-Calais a été formé à la suite d'un affaissement du terrain, qui, de chaque côté de la fracture, a laissé en regard les falaises de la France et de l'Angleterre.

## II. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD.

La profondeur des eaux à l'entrée de la Manche varie de 80 à 120 mètres; le fond de cette mer se relève dans l'est, principalement aux approches du Pas-de-Calais et n'offre en moyenne que 45 mètres de profondeur. Le long des côtes, on rencontre généralement des terrasses sous-marines plus ou moins étendues, présentant en divers endroits des plateaux surélevés. (Pl. III).

Il existe vis-à-vis de la Bretagne une fosse centrale, de forme irrégulière et contournée, se prolongeant jusqu'au delà de l'île de Wight; elle est très-peu large, mais sa profondeur dépasse notablement celle des fonds environnants et atteint près de 175 mètres à l'ouest du cap la Hague. Cette fosse ne peut avoir été creusée par les courants et elle provient sans doute d'une ancienne dislocation du terrain.

Le fond de la Manche et du Pas-de-Calais ne présente pas partout des dépôts, à cause de l'intensité des courants qui circulent dans ces mers; il est formé sur une grande partie de son étendue de roches pierreuses, antérieures à l'époque actuelle. On en trouve jusque dans le thalweg de la partie ouest de la Manche, mais c'est principalement le long des côtes de la Bretagne et du



Cotentin qu'elles occupent de vastes surfaces, qui vont rejoindre à travers le canal, par des branches séparées, les côtes de Cornouailles et celles du Dorset.

Elles se montrent plus loin en divers endroits situés près des côtes, et sur une étendue considérable dans le Pas-de-Calais ainsi qu'au nord de l'embouchure de la Tamise. La composition de ces roches est variable; celles que l'on trouve dans l'ouest de la Manche appartiennent au granit et au terrain de transition; celles de la partie est sont de même nature que les terrains secondaires qui y forment les rives de la France et de l'Angleterre et dont elles ne sont que les prolongements sous-marins. <sup>(1)</sup>

On trouve aussi, en plusieurs points de la Manche, de l'argile, notamment dans le voisinage des côtes; elle est recouverte le plus souvent de vase. L'argile kimmérienne se montre à Honfleur et autour du cap la Hève, l'argile oxfordienne entre les embouchures de la Touque et de l'Orne; et les sondages exécutés dans le Pas-de-Calais, pour le creusement d'un tunnel entre la France et l'Angleterre, ont indiqué un affleurement de l'argile du gault, entre Folkstone et Escalle, près de Wissant.

Mais la plus grande étendue du fond de la Manche est couverte de dépôts de sable mêlé de coquillages. La composition minéralogique de ce sable varie avec la région que l'on considère; c'est ainsi qu'il est feldspathique près des côtes granitiques de la Bretagne et du Cotentin, tandis qu'il est essentiellement quartzeux dans les parages qui se trouvent plus à l'est et où il provient de couches sableuses, ainsi que de la destruction des grès et des silex.

Près du rivage, le sable est fréquemment mêlé de gravier. Ce dernier forme aussi de vastes dépôts dans les grands fonds de la Manche; le plus important s'étend entre les méridiens passant par Etretat et par Dieppe et semble relier le greensand de la Haute-Normandie avec celui de l'Angleterre.

Ces accumulations de gravier à de grandes profondeurs ne se sont point formées sous l'action des courants actuels et comme elles se trouvent au-dessous de la craie blanche, M. De Lesse les attribue à un remaniement des couches graveleuses et imparfaitement cimentées qui sont à la base du terrain crétacé.

La vase se montre fort peu dans le milieu de la Manche, mais il en existe de nombreux dépôts près des côtes, principalement dans les baies qui sont situées à proximité des terrains argileux ou schisteux affleurant au rivage. Ces dépôts de vase ou de sable vasard ont d'ailleurs peu d'étendue.

En quittant la Manche et le Pas-de-Calais pour entrer dans la mer du Nord,

<sup>(1)</sup> De Lesse. *Lithologie des mers de France et des mers principales du globe.*



on constate que, dans la région sud de celle-ci, la profondeur est peu considérable; celle-ci ne dépasse nulle part 50 mètres dans le thalweg qui sépare la côte nord de France et celle des Pays-Bas de la côte est d'Angleterre. Mais le fond sous-marin s'incline en pente douce vers le nord; il atteint jusqu'à 150 mètres de profondeur à la hauteur des îles Orcades et contrairement à ce qu'on observe généralement, il est plus élevé dans son milieu que dans les zones littorales; le long de la Norvège, il existe des dépressions ayant de 300 à 400 mètres de profondeur.

De nombreux bancs de sable s'étendent à proximité des côtes est et sud-est d'Angleterre, dans le Pas-de-Calais, devant la côte des Flandres et aux embouchures de la Tamise, de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin; ces bancs sont remarquables par leur forme allongée ainsi que par leur direction, qui est à peu près parallèle à celle des côtes le long desquelles ils se développent. Plusieurs d'entre eux offrent fort peu de profondeur d'eau, et il en est même dont la crête émerge à marée basse.

On rencontre plus au nord des plateaux fort étendus, mais ils sont relativement peu élevés; les principaux sont: le Bruine Bank, le Zwarte Bank, l'Amelanders Plaat et le Wellbank, qui se trouvent entre la côte est d'Angleterre et la côte des Pays-Bas; les Brée Veertien, situés près de celle-ci; les bancs de Jutland et d'Amrum et le long Fortien, qui s'étendent, les deux premiers le long du littoral du Danemark, et le dernier le long de celui de l'Ecosse.

Au milieu de la mer du Nord se trouve le Doggerbank, lequel se dirige du sud-ouest au nord-est entre  $54^{\circ}10'$  et  $56^{\circ}55'$  latitude et dont la profondeur varie de 14 à 25 mètres; entre ce banc et la côte sud-ouest de la Norvège, il existe encore un plateau fort étendu, le Groote Visscher Bank, mais dont la profondeur est notablement plus grande.

Les divers plateaux de la partie méridionale de la mer du Nord sont séparés par quelques chenaux profonds; le principal d'entre eux, connu sous le nom de *Tiefe Rinne*, prend son origine dans le Pas-de-Calais et se dirige au large de l'embouchure de la Tamise jusqu'à la partie ouest du Zwarte Bank; on y sonde 50 mètres d'eau environ. Les chenaux qui sillonnent les fonds situés dans le sud du Wellbank, sont appelés le Coal Pit, le Sole Pit et le Silver Pit; au nord de ce banc se trouve l'Outer Silver Pit, qui se dirige de l'ouest à l'est et communique avec le Modderkanaal, lequel longe le talus sud-est du Doggerbank.

La nature des fonds de la mer du Nord est variée. On trouve des roches pierreuses le long des côtes de l'Ecosse et de l'Angleterre, dans l'archipel Danois et surtout le long des fjords de la Norvège; les sondes en accusent aussi au



large des côtes, notamment au nord-ouest du Danemark et en face du littoral ouest de la péninsule Scandinave, à la hauteur des îles Orcades.

L'argile se montre par zones fort étendues au sud-est des îles Shetland, à l'est du Doggerbank, et d'une manière plus prononcée encore le long des côtes sud-ouest de la Norvège et dans le Skager-Rack.

Mais de même que pour la Manche, c'est le sable qui constitue le fond dominant de la mer du Nord; il forme les nombreux bancs qui caractérisent la région méridionale de cette mer, ainsi que la plus grande partie des vastes plateaux et des terrasses sous-marines qui s'étendent plus au nord; les dépôts sablonneux couvrent en outre des surfaces considérables autour de ces plateaux et se prolongent jusqu'au delà des îles Shetland et des côtes septentrionales de la Scandinavie.

La vase et le sable vaseux sont également très-abondants dans la mer du Nord; ces alluvions y accompagnent généralement les fonds d'argile. On en trouve sur des surfaces considérables dans le voisinage de la côte nord-est de l'Ecosse et des îles Orcades, le long de la côte ouest de la Norvège et au large de la péninsule du Danemark. Dans la partie centrale de la mer du Nord, à l'est et au sud-est du Doggerbank, ces matières occupent une étendue très-vaste; elles se montrent encore au large du golfe de la Tamise, vers l'entrée du Pas-de-Calais, à l'embouchure de la Meuse et de l'Escaut, et le long de la côte des Flandres.

Tandis que dans la Manche les dépôts coquilliers sont très-répandus, ils sont relativement rares dans les parties sud et est de la mer du Nord, mais il y en a cependant à l'entrée du Pas-de-Calais et dans le voisinage du Doggerbank; ils apparaissent en plus grande quantité dans la région du nord, notamment sur les côtes de l'Ecosse et des Orcades. Tous ces dépôts se trouvent sur des fonds sableux, à une profondeur ne dépassant pas 200 mètres et qui est d'ordinaire inférieure à 100 mètres.

Les sondages ont permis de constater que, dans la Manche, et surtout dans le Pas-de-Calais et à l'entrée de la mer du Nord, il existe aussi des accumulations de galets à de grandes distances du rivage, le plus fréquemment au large des falaises crayeuses à silex qui bordent la France et l'Angleterre. Ces galets doivent appartenir à une époque antérieure, car ils sont à de trop grandes profondeurs, pour que leur formation et leur transport puissent résulter de l'action combinée des courants et des vagues qui se propagent actuellement dans ces mers.

« Si ces galets se sont accumulés à la sortie du Pas-de-Calais et à l'entrée



« de la mer du Nord, dit M. De Lesse, cela tient sans doute à ce qu'ils ont  
« été entraînés par des courants violents, qui remontaient la Manche et qui les  
« ont déposés, lorsque leur vitesse s'est ralentie à la rencontre avec les eaux de  
« la mer du Nord. De pareils courants peuvent d'ailleurs se concevoir facilement,  
« et il a même dû s'en produire d'une puissance exceptionnelle au moment de la  
« formation du Pas-de-Calais. C'est par la même raison que les galets se sont  
« accumulés à l'embouchure de la Seine, vraisemblablement à l'époque diluvienne,  
« lorsque les eaux de ce fleuve, extrêmement gonflées, avaient assez de puissance  
« pour charrier jusqu'à la Manche les silex arrachés le long de son cours. »

### III. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA MARCHE DES ALLUVIONS.

Les courants généraux de l'Océan produisent des érosions le long des rivages et aussi sur le fond de la mer; leur action est extrêmement faible sur les terrains de roche, eu égard surtout à l'immense masse d'eau qu'ils mettent en mouvement; mais elle est plus prononcée sur les fonds composés de dépôts meubles. En parcourant la mer, ils mettent en suspension et transportent, à des distances considérables, les vases et les sédiments qui sont déposés dans les grandes profondeurs et auxquels on a donné le nom d'*oases*; <sup>(1)</sup> ils entraînent également les sables fins et les menus fragments de coquilles, soit directement, soit en les faisant rouler sur le fond, et ils contribuent donc spécialement à la formation des dépôts *pélagiques* ou de haute mer.

Cette puissance de transport est parfaitement constatée pour le Gulf-stream, qui apporte des bois flottants de l'Amérique jusqu'aux côtes de l'Islande et du Spitzberg.

Les courants dérivés qui sont projetés par le Gulf-stream dans la Manche, le Pas-de-Calais et la mer du Nord, ne sont guère appréciables et les transports d'alluvions auxquels ils peuvent donner naissance à l'intérieur de ces mers, sont de minime importance, comparés à ceux qui sont dus aux courants beaucoup plus intenses de la marée. Ainsi que nous le verrons au paragraphe suivant, ces derniers courants entraînent avec la masse des eaux qu'ils mettent en mouvement, les matières ténues, telles que les vases et les sables fins, et ils agissent aussi sur les graviers et les sables, qu'ils charrient sur le fond dans le sens de leur marche.

<sup>(1)</sup> Les *oases* sont des vases visqueuses et adhérentes, composées en partie de débris d'animaux microscopiques, appelés *foraminifères*, *rhizopodes*, *globigérines*, etc., mélangés d'éléments siliceux ou calcaires.



A côté des courants, il faut considérer les vagues soulevées par le vent à la surface de la mer et dont l'action, on le sait, se fait sentir à des profondeurs qui varient avec l'amplitude des ondulations. En se brisant sur les hauts-fonds et sur les plages, elles ont pour effet de désagréger les éléments constituant les terrasses sous-marines, par des chocs plus ou moins énergiques et, de mettre en mouvement les galets, les sables, l'argile et les menus débris de la côte. Lorsque le vent souffle avec violence du large, les vagues acquièrent une grande force; elles entament alors les sables meubles et même les roches pierreuses qui forment le rivage, et tendent, l'influence des courants de marée aidant, à produire des empiètements sur les côtes.

L'action érosive des vagues sur les falaises varie avec la disposition et avec la nature des roches dont celles-ci sont composées. Elle est très-prononcée, quand les falaises présentent à leur base des couches de roches tendres, comme la craie, la marne ou l'argile, disposées horizontalement; mais, quand ces couches plongent vers les grands fonds, elles résistent beaucoup mieux aux assauts de la mer. Les roches dures et compactes sont également entamées, mais avec une extrême lenteur.

Parmi les matériaux enlevés le long des côtes, il en est qui sont délayés dans la masse des eaux et emportés avec elle; tels sont les roches crayeuses, les argiles et les schistes tendres; les sables sont plus difficilement entraînés, tandis que les galets et les débris grossiers ne se meuvent ordinairement qu'à la partie des grèves, située au pied des rivages. On remarque d'ailleurs que, par un temps agité, les eaux qui baignent les côtes formées de roches tendres, sont troubles, limoneuses et de couleur jaunâtre. La zone occupée par ces eaux s'étend d'autant plus en mer que l'agitation est plus grande et que la marée est plus forte; elle varie évidemment d'un point à un autre avec la profondeur et la nature du fond de la terrasse sous-marine qui borde la côte, et avec la composition et la configuration des terrains formant la côte elle-même.

Comme la marche des alluvions soulevées du fond de la mer, ou désagréées et mises en mouvement le long des plages dépend, à la fois de l'action des courants et de celle des vents, le transport des détritiques est le plus rapide lorsque ces deux forces agissent dans le même sens; lorsqu'elles agissent en sens contraire, leurs effets se détruisent en partie et se réduisent souvent, près du rivage, à des mouvements de peu d'amplitude, qui usent les débris sur place et qui sont d'autant plus puissants que la mer est houleuse.

Sur les côtes rocheuses, les caps avancés sont le plus vivement attaqués par les flots; les lames s'épanchent entre ces parties saillantes, et la limite à laquelle



elles s'arrêtent en déferlant sur la plage, présente à l'intérieur de chaque anse la forme d'une courbe elliptique dont la corde correspond à la ligne qui joint les deux pointes de l'anse. Les matériaux provenant de la destruction des promontoires sont rejetés vers les échancrures voisines et, après avoir été broyés et roulés en galets, graviers et sables, ils vont former à la partie supérieure des plages, sous l'action continuelle des lames, des bordures surélevées ou bourrelets, désignés sous le nom de *cordons littoraux*. Ces cordons littoraux s'avancent en flèche à partir des rochers des caps, dans le sens déterminé par la direction des courants et des vents régnants, et ils s'allongent sans cesse, jusqu'à ce que l'anse soit entièrement fermée par un bourrelet continu, disposé suivant une courbe dont la convexité est tournée vers l'ancien rivage. On remarque en général que les galets les plus lourds se trouvent à la partie supérieure des levées; à mesure qu'on descend vers le pied du talus, on rencontre des zones de matériaux ayant des dimensions de plus en plus petites et qui sont disposées sous des pentes de plus en plus faibles. Cette succession d'étages résulte de ce que les galets subissent des impulsions dont l'amplitude augmente avec la force des lames; ceux qui se tiennent au sommet des bourrelets, ont été relevés à cette hauteur par les vagues de gros temps et ils y sont restés, malgré l'effet de la lame en retour, grâce à leur poids; ceux qui suivent, correspondent à des vents moins violents, et ainsi de suite jusqu'à la zone inférieure, laquelle correspond à des vents modérés. Il arrive aussi, par de fortes tempêtes, que les vagues s'élèvent jusqu'au delà du cordon littoral et qu'elles le dégradent en retombant, en même temps qu'elles balayent les sables de la plage; mais quand les tempêtes ont cessé, la mer rétablit peu à peu les levées de galets dans leurs conditions primitives.

Quelquefois les levées de galets se développent en mer, soit pour aller rejoindre une île détachée, qu'elles transforment en presqu'île, soit pour relier deux îles entre elles.

Les rivages entièrement sablonneux présentent, comme les côtes rocheuses, une série d'inflexions comprises entre des pointes avancées, mais celles-ci sont en général beaucoup moins accentuées que les promontoires des rochers; elles sont exposées également à subir des érosions rapides, et les sables provenant de ces érosions sont entraînés dans les anses, dont elles relèvent peu à peu le fond; à marée basse, lorsque la grève découvre, les molécules de ces sables perdent peu à peu leur humidité, cessent d'adhérer les unes aux autres et sont chassées par les vents du large vers le rivage, où elles s'accumulent et constituent le bourrelet littoral.

On voit que les matériaux enlevés par les flots aux pointes saillantes des



côtes, servent en partie à édifier des bords nouveaux dans les anses et dans les anfractuosités, de sorte que l'action de la mer tend en définitive à régulariser la ligne des rivages suivant des courbes à grand rayon.

Dans certains cas particuliers cependant, la marche du galet s'arrête en un même point, dont il augmente successivement la saillie, et il existe aussi des anses où, par suite du régime des courants et des vents, la côte continue lentement à se creuser.

Beaucoup de baies ont été ensablées et fermées par des cordons littoraux. Mais, lorsqu'elles sont alimentées par un fleuve, la masse des eaux déversées par ce dernier doit nécessairement se frayer une issue vers la mer, en se creusant des passes plus ou moins profondes à travers les levées d'alluvions; les atterrissements se prolongent d'ailleurs sous ces passes et y forment des hauts-fonds ou *barres*. Dans les contrées où l'année comprend une période prolongée de sécheresse, le cordon littoral peut fermer temporairement la baie pour être percée à nouveau pendant la saison pluvieuse.

Comme la mer emplit, à chaque flot montant, les lagunes situées en arrière des levées d'une masse d'eau en rapport avec l'amplitude de ses oscillations, pour l'écouler à la marée descendante qui suit, elle donne elle-même naissance à des courants de va-et-vient qui creusent les chenaux d'accès et y maintiennent souvent de grandes profondeurs. Ces chenaux, qu'ils soient temporaires ou permanents, subissent des modifications continues suivant la situation des eaux d'amont et l'état de la mer, et ils se déplacent tantôt dans un sens et tantôt dans un autre.

Si les cours d'eau s'ouvrent un passage à travers les cordons littoraux situés devant les baies, ils exhaussent en revanche le fond de celles-ci en y déposant leurs alluvions; à ces dépôts viennent s'ajouter ceux apportés par la mer, car les eaux marines qui s'introduisent à chaque marée dans les lagunes intérieures, abandonnent une partie des matières qu'elles tiennent en suspension, grâce au calme relatif qu'elles y acquièrent, et qui est le plus souvent favorisé encore par des remous et des contre-courants donnant lieu à des zones stagnantes. C'est ainsi que d'anciennes baies sont transformées en marais et soustraites lentement au domaine de la mer, par l'accumulation des alluvions et des détritux végétaux pendant la succession des années et des siècles, pour devenir finalement une terre ferme, rattachée au rivage.

Sur le littoral des contrées froides, telles que la Scandinavie, la côte a conservé sa forme dentelée primitive, à cause de l'existence des glaciers qui y encombraient les golfes et les fjords jusqu'à une époque relativement récente, par rapport à celle à laquelle la période glaciaire a cessé sous la zone torride et dans



les régions tempérées; l'eau qui baigne ces côtes accores et profondes, est du reste fort peu chargée et n'apporte qu'une très-faible quantité de débris comparativement à ce qui se passe le long des côtes plus basses. <sup>(1)</sup>

On rencontre généralement, au-dessus des plages sablonneuses, des monticules de sable rangés parallèlement au rivage et connus sous le nom de *dunes*. Ces monticules sont formés par l'action des vents du large, qui chassent devant eux les sables desséchés de l'estran; ceux-ci s'arrêtent à la partie supérieure de la plage, partout où il existe des inégalités de surface, des cailloux, des branches, des plantes ou d'autres corps interceptant leur marche. En même temps que la hauteur d'une première série de monticules augmente et que les sables qui ont atteint le sommet, se déversent sur la face opposée, les vents agissent sur les parties latérales et en enlèvent des couches superficielles, qui vont retomber plus loin pour constituer d'autres monticules soudés aux précédents; et, par cette action incessante et prolongée, le littoral se trouve peu à peu bordé d'une chaîne de dunes plus ou moins puissantes.

Le long des rivages baignés par des marées d'une grande amplitude et bordés de vastes estrans, les dunes sont d'ordinaire larges et élevées. Celles qui se trouvent sur le littoral des landes de Gascogne, où le volume de sable rejeté chaque année par la mer a été évalué à 6 millions de mètres cubes, occupent une longueur de 240 kilomètres entre les embouchures de l'Adour et de la Garonne, sur une largeur variant de 300 à 8000 mètres, et elles s'élèvent en certains points à près de 100 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer <sup>(2)</sup>. Sur la côte des Pays-Bas, les dunes sont aussi très-puissantes et atteignent en plusieurs endroits plus de 40 mètres de hauteur; le plus haut monticule est situé près de Schoorl et mesure 59 mètres jusqu'à la crête <sup>(3)</sup>.

Nous n'avons parlé jusqu'à présent que des alluvions d'origine essentiellement marine, mais les fleuves qui charrient et portent dans la mer les débris enlevés par l'action de leurs courants aux terres du continent, interviennent également dans la formation des dépôts littoraux et sous-marins.

La puissance d'érosion et de transport des fleuves dépend de bien des circonstances très-complexes, principalement de leur régime et de la nature de leur bassin hydrographique. Ceux qui descendent des contrées montagneuses et dont les thalwegs conservent, sur tout leur parcours, une forte pente, roulent les galets, les cailloux et les graviers jusqu'à leur embouchure. Mais quand la

<sup>(1)</sup> Elisée Reclus. Ouvrage cité.

<sup>(2)</sup> Laval. *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1847.

<sup>(3)</sup> *Tijdschrift van het koninklijk instituut van Ingenieurs*, année 1869-1870.



partie aval de la rivière traverse un pays plat ou peu incliné, les gros débris se déposent avant d'arriver à la mer, qui ne reçoit que les sables fins et les limons.

Les expériences de Telford ont donné comme vitesses nécessaires pour corroder le fond des cours d'eau, les valeurs suivantes :

ROCHES DU FOND	VITESSE PAR SECONDE
Terre détrempée . . . . .	0 <sup>m</sup> ,076
Argile tendre. . . . .	0,152
Sable. . . . .	0,305
Gravier. . . . .	0,609
Cailloux. . . . .	0,914
Pierres cassées . . . . .	1,220
Cailloux agglomérés) Schiste tendre }	1,520
Rocher en couches. . . . .	1,830
Rocher dur . . . . .	3,050

Tandis que les vases et les limons flottent dans la masse des eaux en mouvement et sont emportés avec elle, les sables sont poussés peu à peu sur le fond avec une vitesse qui dépend évidemment de celle des courants. Pendant les crues intenses, alors que la vitesse de l'eau s'accroît en même temps que son volume, les quantités de matières entraînées peuvent atteindre de fortes proportions et comprendre dans certains cas des matériaux de dimensions exceptionnelles.

Dans les mers à faibles marées et offrant des côtes peu profondes, les alluvions s'accumulent rapidement à l'embouchure des fleuves et finissent par l'obstruer; puis elles s'étendent vers le large en se bifurquant et forment à la longue des *deltas*. Les saillies des deltas augmentent sans cesse et l'on peut, en général, suivre leur développement d'année en année. Le delta du Rhône s'est allongé de 5640 mètres en cent trente-quatre ans; celui du Missisipi, dont l'étendue est considérable, s'allonge annuellement de 350 mètres. Mais lorsque le fleuve vient se déverser dans une mer sans marées sensibles, en un endroit où la côte est profonde, les deltas se forment beaucoup plus difficilement.

Les conditions ne sont pas les mêmes à l'embouchure des fleuves à marées; les atterrissements qu'on y rencontre ne s'avancent pas en saillie sur le rivage et se réduisent d'ordinaire à un ensemble de bancs et de passes, d'un régime parfois très-variable et qui, sur des côtes basses, occupent souvent de grandes surfaces. Cette différence semble résulter précisément de l'existence du flux et du reflux, dont les courants tendent continuellement à creuser les hauts-fonds de l'embouchure et à entraîner les alluvions vers la mer.

Pour résumer brièvement les conditions suivant lesquelles se répartissent, d'une manière générale, les dépôts actuels de la mer, disons que les débris



grossiers, galets, graviers et sables ne se rencontrent qu'à la partie supérieure des plages; ces éléments, à chaque instant soulevés et remués par la houle, subissent des frottements continuels; ils participent en même temps au mouvement de translation des couches d'eau inférieures, et cheminent lentement sur le fond pour s'arrêter dans les endroits où les plus fortes vagues n'ont plus assez de force pour les déplacer. A cette première zone succède une autre zone de sables fins, qui ont pu être tenus en suspension dans les eaux et déposés plus au large; puis viennent les zones couvertes de vases, lesquelles, après avoir été promptement délayées par la houle et s'être dissoutes pour ainsi dire dans la masse des eaux, sont entraînées à de grandes distances par les courants. Plus loin enfin, dans les parties profondes des mers, on trouve les oases et les craies, composées en grande partie de débris d'infusoires mélangés à des éléments minéraux impalpables.

IV. — EROSIONS DES CÔTES DE LA MANCHE. — MARCHÉ DES ALLUVIONS DANS LA MANCHE, LE PAS-DE-CALAIS ET LA PARTIE MÉRIDIONALE DE LA MER DU NORD.

Les côtes granitiques de la Bretagne, de même que celles du Cornouailles, quoique très-dures et très-résistantes, subissent cependant des érosions fort apparentes, ainsi qu'il est constaté par les blocs que l'on trouve à leur pied et qui proviennent de la destruction des parties avancées. Les vagues repoussent ces blocs, ainsi que les galets, les graviers et les sables dans les anfractuosités rentrantes et y forment des cordons littoraux.

La composition minéralogique des gros fragments, blocs et galets, indique d'ailleurs qu'ils proviennent des roches environnantes; dans les graviers, les éléments s'isolent et proviennent en général de points plus éloignés; on y distingue surtout le quartz, le feldspath et les micas; dans les sables fins, le quartz hyalin est l'élément dominant, mais il renferme aussi en beaucoup d'endroits des calcaires, bien que la contrée en soit dépourvue. Cette particularité doit être attribuée aux innombrables mollusques des côtes de la Bretagne, qui s'assimilent une partie des calcaires, amenés par les courants des falaises de la Normandie et dissous ou tenus en suspension dans les eaux; leurs débris se mélangent aux dépôts littoraux et donnent lieu à des tangues riches en carbonate et phosphate de chaux, connues sous le nom de *traëz*.

Les végétaux nullipores, qui croissent en abondance le long du littoral de la Bretagne et dont le développement paraît être favorisé par les sables feldspathiques, ont également la faculté d'absorber une partie des calcaires contenus dans



les eaux et leur mélange avec les sables constitue pour les terres du littoral un véritable engrais, désigné sous la dénomination de *maërl* <sup>(1)</sup>.

Le long du Cotentin, l'action érosive de la mer n'est pas moins importante; son effet se fait surtout sentir dans la baie du mont Saint-Michel, où l'accumulation des sables enlevés des côtes rocheuses tend constamment à augmenter la largeur de la zone littorale remblayée. M. l'Ingénieur Marchal évalue à 600000 mètres cubes l'apport des sables qui se fait annuellement dans cette baie <sup>(2)</sup>; leur mélange avec les débris de coquilles y produit encore des tangues très-abondantes, dont la proportion de calcaire atteint sur certains points, de 50 à 60 pour 100.

On rencontre aussi des tangues sableuses sur les côtes du Cornouailles et du Devonshire; elles y présentent une composition analogue à celles de la côte française, et sont exploitées sur une vaste échelle pour servir à l'amendement des terres.

Les érosions sont beaucoup plus considérables sur les côtes du Calvados et de la Seine-Inférieure, et sur les côtes sud d'Angleterre, depuis le Dorset jusqu'au Kent, lesquelles sont formées par des terrains tertiaires très-friables, ou par des terrains secondaires d'une résistance bien moindre que les roches de transition schisteuses et métamorphiques et les roches granitiques.

M. Bouniceau évalue au chiffre minimum de 0<sup>m</sup>,25, l'épaisseur de la tranche de falaise enlevée chaque année sur la côte du Calvados et, d'après M. Lamblardie, le rivage de la Seine-Inférieure serait rongé annuellement de 0<sup>m</sup>,30 en moyenne. La destruction causée par la mer sur la côte anglaise ne paraît pas être moins active que sur la côte de France.

En prenant ces données pour base et en évaluant approximativement, d'après la longueur et la hauteur moyennes des falaises, le volume total des matières enlevées chaque année sur les deux rives de la Manche, dans l'étendue des côtes précitées, on obtient le chiffre de 10 à 12 millions de mètres cubes qui vont s'ajouter régulièrement aux dépôts littoraux et sous-marins.

Les études de M. Lennier tendent cependant à démontrer que l'appréciation de M. Lamblardie sur le degré de destruction des falaises, est exagérée. Il se produit sans doute de grands éboulements en certains points, tels que le cap la Hève et le cap Antifer, qui, par suite de leur position avancée et de leur composition, sont plus exposés à l'action destructive de la mer et des agents atmosphériques. Au cap la Hève, la désagrégation des roches est principalement due à l'influence des eaux pluviales. Ces eaux s'infiltrant dans les calcaires

<sup>(1)</sup> Burat. *Ouvrage cité*.

<sup>(2)</sup> *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1834.



crayeux de la partie supérieure, puis dans les sables inférieurs; arrêtées par les argiles kimmériennes, elles s'écoulent du côté de la mer, entraînant peu à peu une partie des sables, jusqu'à ce que la falaise, déjà crevassée, ne trouve plus de soutien suffisant, s'écroule et projette ses débris sur la plage. Au cap Antifer, les éboulements ont lieu dans des conditions différentes. Le pied du rocher y est formé par la craie marneuse; celle-ci se délite et se creuse par suite du battement continu des lames, de manière à faire surplomber de plus en plus la craie blanche de la partie supérieure, qui finit par se détacher et par glisser jusqu'à la base.

Mais les falaises qui sont formées entièrement de craie plus ou moins compacte et qui, grâce à leur homogénéité, sont à l'abri de l'infiltration des eaux, comme les falaises situées au sud de Dieppe, résistent beaucoup mieux à l'action des vagues, et les éboulements y sont rares. Il en est de même de celles que l'on rencontre vers Cauville; le pied en est précédé d'une espèce de terrasse, formée par les argiles et les calcaires kimmériens, et qui s'avance de plus de 100 mètres sur le rivage. Cette terrasse offre une grande résistance et est seule attaquée par la mer.

« Si je devais estimer la destruction annuelle de nos falaises, dit M. Lennier, « je croirais être près de la vérité en disant que, si l'on répartissait sur toute « la longueur les parties éboulées annuellement, on reconnaîtrait qu'elles ne « formeraient qu'un ruban de 20 à 25 centimètres de largeur, *dans les années « où les éboulements sont considérables.* »

Voyons quelle est la marche des alluvions provenant de la destruction des côtes de la Manche et quelle est leur influence sur les fonds sous-marins situés de l'autre côté du détroit.

Nous savons que les galets et les gros débris ne se meuvent pas en dehors de la zone qui s'étend au pied des rivages; ils y obéissent presque exclusivement au choc des lames, en se déplaçant en zigzag. Soit en plan AB la ligne de la côte (Pl. II, fig. 7); lorsqu'une lame se propage obliquement vers la rive dans la direction  $mn$ , le galet porté de  $m$  en  $n$  redescend avec l'eau suivant la ligne de plus grande pente  $nm'$  du talus, d'où il est repris par la lame qui suit et transporté en  $n'$  et ainsi de suite; il se déplace donc successivement, dans le sens parallèle à la plage, des quantités  $nn'$ ,  $n'n''$ , etc. Le maximum de vitesse de transport paraît se produire lorsque la lame est inclinée à  $45^\circ$  sur la côte <sup>(1)</sup>.

Roulés et transportés sans cesse par les vagues, tantôt dans un sens, tantôt en sens opposé, les galets avancent en définitive dans la direction des vents

(1) De Bauve. *Manuel de l'Ingénieur.*



régnants qui, dans les parages de la Manche, soufflent de l'ouest; et lorsqu'ils rencontrent dans leur marche un obstacle BC transversal à la côte, soit une pointe avancée naturelle, soit un épi ou une jetée artificielle, ils s'accumulent dans l'angle ABC, où la plage prend bientôt la forme EF. Si l'obstacle présente peu de saillie, les galets le contournent rapidement; si au contraire il s'avance à une distance suffisante du rivage pour déboucher dans des fonds où l'action de la lame n'est plus guère sensible, la plage se développe du côté des vents régnants, tandis que de l'autre côté, les galets continuent leur mouvement le long de la côte, sans que de nouveaux apports viennent les remplacer et ils doivent par conséquent y diminuer sans cesse.

Les plages à galets de la Normandie ne s'étendent pas beaucoup au delà des dernières falaises exposées à la mer, qui se trouvent au bourg d'Ault; immédiatement à l'est de ces plages, on rencontre les sables de la baie de la Somme. A une époque reculée, la Somme coulait au pied des rochers reliant Saint-Valéry à Ault; mais les galets rejetés par la mer, dans leur marche du sud-ouest au nord-est, la refoulèrent peu à peu vers le nord et formèrent le vaste terrain d'alluvion situé devant cette ligne de falaises, et terminée au nord-est par la pointe du Hourdel, pendant que les sables rétrécirent la baie sur la rive opposée. La pointe du Hourdel, qui n'a jamais été dépassée par le galet, se trouvait encore au XVII<sup>e</sup> siècle à 3 kilomètres au sud de sa position actuelle; elle n'avance plus guère aujourd'hui, mais la baie de la Somme n'en continue pas moins à s'ensabler <sup>(1)</sup>.

Sur la côte anglaise, les galets se déplacent aussi de l'ouest vers l'est; ils se sont accumulés en grande quantité près de l'ancienne île de Portland et y forment une levée d'environ 26 kilomètres de longueur, le *Chesilbank*, qui s'étend à peu près parallèlement au rivage et relie la presqu'île à la côte. Plus loin et presque en face de la pointe du Hourdel se trouve la pointe de Dungeness, qui est des plus remarquables.

Elle provient de l'accumulation des galets enlevés des falaises de grès, qui bordent le littoral aux environs de Hastings; sa saillie sur la ligne générale de la côte est de plus de 4 milles.

Sir John Coode, qui s'est occupé spécialement de l'étude des phénomènes relatifs à la destruction des falaises et au mouvement du galet le long de cette partie de la côte anglaise, a fait voir que la pointe de Dungeness s'est avancée de 530 pieds, depuis l'année 1792 jusqu'en 1850, soit en moyenne de 9 pieds par an; tandis que depuis 1850 jusqu'en 1871, l'avancement a été de 280 pieds,

(1) *Les ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Geoffroy.



soit d'environ 13 à 14 pieds en moyenne par an ; le développement de la plage se fait sentir à une distance considérable à l'ouest de la pointe, mais à une distance très-faible du côté opposé.

C'est à l'influence de la saillie de Dungeness, laquelle constitue une entrave à la marche régulière du galet, que l'on doit attribuer la diminution de cette alluvion le long de la côte située à l'est ; cette diminution se constate jusque dans la baie de Sainte-Marguerite et les parages de Douvres. En certains points, elle est tellement prononcée que la mer y attaque directement les falaises et menace d'empiéter sur le rivage.

Dans la baie de New-Romney et sur les plages de Dymchurch, de Hythe et de Sandgate, on ne rencontre que des galets de peu d'épaisseur et beaucoup plus de sable ; car ce n'est qu'après avoir été réduits à de très-faibles dimensions par suite des ballottements et des frottements continuels, que les débris parviennent à contourner la pointe de Dungeness et à continuer leur mouvement vers l'est, en abandonnant en même temps une partie de leurs molécules à l'état de gravier ou de sable.

Sur la côte sud-est d'Angleterre, le régime du galet s'éteint près de Sandwich, à 9 kilomètres environ au delà des dernières falaises de South-Foreland.

En voyant la quantité considérable de galets qui se trouvent généralement au pied des falaises, on est porté à croire à une production rapide de ces matériaux. Mais il ne faut pas perdre de vue que les amas de galets sont le résultat d'effets séculaires, et les observations qui ont été faites en plusieurs points, tendent au contraire à prouver qu'ils ne se forment qu'avec beaucoup de lenteur. Comme nous venons de le voir, la pointe de Dungeness, où le galet provenant des falaises d'Hastings s'accumule d'une manière exceptionnelle, n'a avancé en effet que de 9 pieds en moyenne par an de 1792 à 1850, et de 13 à 14 pieds en moyenne de 1850 à 1871. De même, la pointe du Hourdel qui arrête le galet amené des côtes de la Normandie, n'avance plus guère aujourd'hui et sa position est restée sensiblement la même depuis 1833, époque à laquelle on a construit un quai en charpente et une digue en pierrailles, pour abriter le port du Hourdel.

D'autre part, la quantité de galets enlevés chaque année à l'ouest des jetées de plusieurs ports de la côte de Normandie, suffit pour faire disparaître l'encombrement produit par cette alluvion à l'entrée des chenaux, et celui-ci ne se renouvelle qu'à la suite d'une série continue de coups de vent de l'ouest. Tel est le cas pour Dieppe, où le volume enlevé annuellement n'est cependant pas très-considérable ; M. Lamblardie n'estimait qu'à 24000 mètres cubes, en moyenne, la masse de galets qui passe par an, de l'ouest vers l'est, devant ce port.



Citons encore l'exemple du port de Fécamp, où les pouliers qui obstruaient le chenal ont cessé de se former depuis que la jetée sud a été prolongée; ce prolongement date de 1850, et, à partir de cette époque, on a observé ce fait remarquable que près du chenal, la laisse des basses mers tend plutôt à reculer qu'à avancer, par suite de circonstances locales spéciales, auxquelles viennent en aide les enlèvements de galets nécessaires au lestage des navires. <sup>(1)</sup>.

Il est certain aussi que la durée du galet, très-variable évidemment suivant la nature des roches dont il est formé, est généralement beaucoup plus grande qu'on ne le suppose. Ceux qui sont composés de matières dures et tenaces, telles que le quartz et le granit de la Bretagne et le silex de la Normandie, peuvent résister longtemps aux chocs et aux frottements mutuels, de sorte que leur renouvellement n'a pas besoin de se faire très-rapidement pour produire à la longue des accumulations considérables le long des plages.

Tandis que les galets ne se meuvent guère en dehors de la zone attenante au rivage, là où l'agitation des eaux est très-grande, les graviers et les sables provenant des érosions de la côte et du frottement mutuel des galets et des gros débris, descendent sur les parties basses de l'estran et continuent à y être soulevés et déplacés par les lames; et quand les sables sont suffisamment fins, ils sont entraînés vers les fonds du large, où ils subissent plus particulièrement l'action des courants. Les matières très-ténues, comme les argiles et les molécules de craie, sont plus facilement emportées encore, et transportées avec la masse des eaux qui les tient en suspension.

Examinons ce qui se passe sous ce rapport dans les parages de la Manche, du Pas-de-Calais et de l'entrée de la mer du Nord, en commençant par la zone centrale, où les courants sont directement alternatifs et entraînent par conséquent les matières en suspension tantôt dans un sens, tantôt dans un sens opposé.

Nous savons que dans cette zone, comme dans les zones littorales d'ailleurs, la vitesse maximum du courant de flot, en temps calme ou sous l'influence de brises légères, est généralement supérieure à celle du courant du jusant, tandis que la durée du flot est en chaque point moindre que celle du jusant. Avec ces conditions de vitesse et de durée respectives, il serait difficile de conclure quel est l'effet que les courants doivent, en définitive, produire sur les matières contenues dans les eaux, ainsi que sur les sables du fond qu'ils charrient constamment dans le sens de leur mouvement.

Mais les courants de marée subissent aussi l'influence des vents. Dès que

<sup>(1)</sup> *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Renaud.



le vent souffle avec quelque force de la région de l'ouest, le courant de flot prend de suite une grande prédominance, du moins dans les couches supérieures de la nappe liquide; l'inverse a lieu quand le vent souffle de la région de l'est. Par des vents d'aval violents, coïncidant avec de petites marées, on voit le flot durer presque constamment, mollissant ou renversant à peine, pour reprendre ensuite avec plus de force. Il en est de même pour le jusant par de forts vents de l'est. Et comme les vents d'aval sont les vents régnants, ils tendent à déterminer, vers cette dernière région, un excès de transport des sables fins et des vases, qui se trouvent en suspension dans les eaux de la mer.

La prédominance de transport vers l'est s'accroît davantage encore, à cause de cette circonstance que, pendant le flot, qui a lieu entre la mi-montée et la mi-baissée en passant par le plein, le volume d'eau mis en mouvement est beaucoup plus grand que pendant le jusant, et aussi parce qu'une même masse d'eau, à mesure qu'elle avance vers le nord sous l'influence du flot, arrive dans des régions où la durée de ce courant se prolonge, tandis que les eaux entraînées par le jusant rencontrent successivement des régions où ce dernier courant cesse plus tôt.

Cet effet de l'action combinée des courants et des vents, tendant à transporter définitivement, dans le sens du courant de flot, les matières que les eaux de la mer contiennent, est parfaitement constaté dans la Manche, dans le Pas-de-Calais et à l'entrée de la mer du Nord; il est désigné sous la dénomination de *gain de flot*. On comprend toutefois que les alluvions qui nous arrivent ainsi de l'autre côté du détroit, après avoir été prises et reprises par les courants de flot et de jusant, mettent un temps fort long à parcourir leur trajet; et ce temps varie nécessairement suivant que l'intervention du vent accentue plus ou moins énergiquement la prédominance du premier de ces courants sur le second. L'effet du gain de flot doit du reste être beaucoup moins prononcé sur les gros sables du fond, car ceux-ci ont trop de densité pour se mêler à la masse des eaux, comme c'est le cas pour les vases et les vases sableuses; ils sont plutôt roulés par les courants sur le lit de la mer, avec une vitesse relativement faible, et ne se meuvent guère, dans la zone du large, en dehors de la couche d'eau qui court sur le fond; or, l'influence exercée par le vent sur les courants de marée, ne peut plus être bien sensible à cette profondeur.

Dans les zones littorales, caractérisées par le régime des courants giratoires, la marche des alluvions est différente. On y observe encore un excès de transport des sables et des vases vers l'est, résultant surtout de cette circonstance que les courants de flot et de jusant, dirigés respectivement du côté de l'est et de



l'ouest, pendant la partie de la durée correspondant à leur plus grande intensité, subissent également l'influence des vents régnants; mais, comme ces courants changent peu à peu de direction, pour parcourir successivement toutes les aires du compas en tournant de gauche à droite ou de droite à gauche, suivant que l'on considère la côte anglaise ou la côte du continent, ils donnent en outre lieu à des échanges continuels et alternatifs de matières entre les dépôts du large et ceux du rivage.

Ainsi, le long de notre littoral, où les courants sont giratoires inverses, le flot porte vers la terre pendant la première période de son mouvement, en même temps que la mer monte sur le rivage; il passe ensuite par son maximum de vitesse, en continuant son parcours orbitaire, et étale enfin vers le large; les matières mises en suspension sur les plages pendant la marée montante, tant par les courants eux-mêmes que par l'agitation résultant de l'action du vent, sont entraînées avec ces derniers loin du rivage et vont se déposer, en grande partie, sur les bancs et principalement dans les passes qui s'étendent devant la côte. Mais à l'étalement de flot succède presque immédiatement le courant de jusant, qui augmente peu à peu d'intensité pendant que la marée descend, et porte ensuite vers la terre pour étaler aussi dans cette direction. Les matières ténues soulevées par les courants ainsi que par les lames, lesquelles agissent avec intensité au-dessus des parties peu profondes de la terrasse sous-marine bordant le littoral, sont donc ramenées vers les plages, où elles tendent à se déposer au moment de l'étalement (<sup>1</sup>).

Les transports d'alluvion, occasionnés par les courants giratoires, ne paraissent donc pas devoir modifier sensiblement la situation définitive des fonds sous-marins des zones littorales, si ce n'est aussi dans le sens d'un accroissement des dépôts à résulter de l'effet du gain de flot. Toutefois remarquons encore ici que dans ces transports, il s'agit plus particulièrement des matières extrêmement fines, telles que les vases et les sables vasards, qui flottent dans la masse des eaux et qui sont entraînées par les courants, même quand ceux-ci, en se rapprochant des régions vers lesquelles ils s'étalent, ont notablement diminué d'intensité.

Nous verrons plus loin, par l'étude des changements survenus depuis plus de trois quarts de siècle dans les bancs et les passes de la côte de Belgique, que l'influence du gain de flot sur les atterrissements de ces parages maritimes ne se fait sentir qu'avec une extrême lenteur. Le même fait a été signalé par M. l'Ingénieur de la Roche-Poncié pour la côte nord de France, entre Calais et la frontière de Belgique, à la suite d'une reconnaissance hydrographique effectuée

(<sup>1</sup>) Plocq, *Annales des Ponts et Chaussées*, année 1863. Mémoire cité.



en 1861, <sup>(1)</sup> et il ne présente rien d'anormal; car les quantités d'alluvions qui sont fournies annuellement par les érosions des côtes de la Manche, et auxquelles viennent s'ajouter les apports fluviaux, sont peu considérables, comparées à l'énorme étendue des estrans et des fonds de la mer sur lesquels ces matières se répartissent, sous la double action des courants et des vents. Et si la forme allongée des bancs que l'on rencontre à l'entrée de la mer du Nord, de même que leur orientation par rapport à la direction des courants de flot et de jusant, peuvent faire présumer que ces atterrissements sont nourris par les transports dus au gain de flot, il est certain, d'autre part, que des bancs de cette puissance ne peuvent être que le résultat d'effets millénaires, précédés sans doute, à l'origine, de quelque perturbation dans les conditions géologiques du sol.

Les additions lentes d'alluvions qui proviennent, pour la région méridionale de la mer du Nord, de l'action du gain de flot, s'observent d'ailleurs principalement dans les grands fonds du large et dans les passes plus ou moins abritées longeant la côte; cette circonstance résulte naturellement de ce que les matières qui arrivent de l'autre côté du Pas-de-Calais, se composent en majeure partie de vases et d'argiles, ainsi que de sables devenus de plus en plus fins pendant ce long trajet, et ne se précipitent que dans les endroits où, par suite de la grande profondeur de la nappe d'eau ou de la situation abritée du fond, il existe un degré de calme suffisant dans les couches liquides inférieures.

Les dépôts de vase et de sable vasard se rencontrent en abondance tout le long du littoral des Flandres et plus encore dans les estuaires de l'Escaut, de la Meuse et du Rhin, où l'existence des passes et des fausses passes de l'embouchure favorise la précipitation des matières entraînées. Dans ces parages, la mer est grise ou jaunâtre et ressemble, après les temps de houle surtout, à une immense vasière, offrant aux marins un singulier contraste avec la nappe liquide, d'une teinte bleue et claire, qui couvre l'Océan.

Remarquons cependant que les alluvions amenées par des fleuves comme ceux qui débouchent sur la côte des Flandres, n'interviennent que pour une faible part dans les atterrissements existant à l'embouchure; car, par suite du peu de pente que ces cours d'eau offrent dans leur partie aval, les matières ténues arrivent seules jusqu'à la mer, et elles y sont mélangées aussitôt à une énorme masse d'eau par l'action des courants et des vagues, et entraînées en grande partie vers le large. Pour de pareils fleuves, le volume total des apports n'est du reste pas très-considérable. D'après les observations de M. Marchal, le cube de matières charriées par la Seine n'excéderait pas 368000 mètres cubes

<sup>(1)</sup> *Recherches sur le régime hydrographique des côtes. Deuxième cahier.*



par an, et les recherches de cet ingénieur concernant la puissance d'apport de la Meuse, de l'Escaut et du Rhin, l'ont conduit à conclure que la proportion qui existe dans la formation des polders de la Hollande, entre l'apport fluvial et l'apport maritime, est inférieure  $\frac{1}{43}$  <sup>(1)</sup>.

Les courants de marée étendent leurs effets jusque sur les estrans et y produisent également des transports d'alluvions dans le sens de leur mouvement; mais les vagues qui y agissent concurremment avec les courants, exercent sous ce rapport une action prédominante, et celle-ci est différente selon qu'il s'agit de vagues se propageant par des vents modérés, ou de celles soulevées par les fortes tempêtes. Si l'on se rappelle dans quelles conditions les ondulations s'avancent vers le rivage et combinent leurs effets avec ceux des lames en retour, on comprend que le long des côtes sablonneuses, elles doivent, en temps ordinaire, apporter peu à peu les sables rejetés par la mer à la partie supérieure des plages, en donnant en outre lieu à un certain déplacement de ces matières parallèlement à la côte, soit dans un sens, soit dans le sens contraire, d'après la direction de la vague par rapport au rivage. Car, pendant que les vagues remontent le plan incliné formé par l'estran sous-marin, en entraînant les sables soulevés, elles sont déviées en partie du côté de l'inclinaison suivant laquelle elles se propagent; ce mouvement de déviation s'accroît à mesure qu'elles s'approchent de la rive, et lorsqu'elles cessent de monter pour se briser définitivement sur la plage, leur effet sur les sables soulevés se réduit à un certain déplacement de ces matériaux le long de la côte. La résultante de ces déplacements donne nécessairement lieu à un transport final dans le sens déterminé par la direction des vents régnants.

Quant à la profondeur à laquelle les lames peuvent étendre leur action sous la surface de l'eau, en tant qu'il s'agit de soulever le sable des estrans sous-marins pour le laisser retomber un peu plus loin et l'entraîner ainsi par mouvements successifs, les ingénieurs sont généralement d'accord pour admettre que, sur nos côtes, cette profondeur n'est guère de plus de 8 mètres. Il en résulte que l'importance des mouvements de sable, produits par les lames le long des plages, augmente beaucoup avec l'étendue de l'estran qui découvre à marée basse et avec l'inclinaison de la terrasse sous-marine située en prolongement de ce dernier.

Mais pendant les tempêtes, alors que les vagues viennent se briser avec impétuosité dans toute l'étendue de l'estran, et qu'elles sont accompagnées de puissantes lames en retour, le sable est remué profondément et emporté, à marée baissante surtout, au delà de la ligne des basses mers, où il subit ensuite plus particulièrement l'action des courants; il arrive même que les lames de gros

(1) *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1834, mémoire cité.



temps ne balayent pas seulement les sables de la plage, mais qu'elles entament aussi les dunes en les coupant à pic sur une épaisseur plus ou moins notable.

Cet effet des vagues de tempête se constate nettement sur nos plages; celles-ci sont généralement amaigries en hiver, et se reforment pendant la période des temps calmes qui suit. Et lorsqu'on se trouve en présence d'une côte où, par suite de circonstances hydrographiques particulières, l'estran a peu de largeur et est précédé d'un talus sous-marin à forte pente, on remarquera que les apports de sable qui, en temps ordinaire, doivent nourrir la plage, sont très-restreints, et qu'ils sont en outre beaucoup plus vite repris par les lames de grosse mer; ces dernières tendent alors à rompre l'équilibre entre les apports du large et les sables enlevés de l'estran et de la dune, au point d'envahir le rivage.

Les vents, on le sait, exercent aussi une influence directe sur la situation des plages. Ceux du large chassent devant eux les sables de l'estran qui découvre à marée basse, et les accumulent à la partie supérieure de ce dernier, où ils servent à entretenir les dunes ou à former des dunes nouvelles. Mais, comme la direction du vent est le plus souvent inclinée par rapport à la ligne générale des côtes, il s'ensuit que les sables soulevés subissent en même temps des transports dirigés tantôt d'un côté, tantôt de l'autre, pour avancer encore définitivement dans le sens des vents régnants.

Il n'existe d'ordinaire pas de trace de dépôts de vases sur les estrans qui sont recouverts régulièrement par la marée; ces matières y sont continuellement mises en suspension par l'agitation des eaux et entraînées avec la mer descendante. Sur les côtes où les vases sont abondantes, on en rencontre cependant, après quelques jours de temps calme, dans les sillons plus ou moins profonds dont la plage est labourée par l'effet des courants; mais ces dépôts ne constituent que des couches superficielles de peu d'épaisseur et disparaissent dès que la mer devient houleuse. Les vases se déposent au contraire dans les zones plates situées à la partie supérieure des plages et qui, par suite de leur niveau surélevé, ne sont submergées que par les grandes marées; elles s'accumulent surtout très-rapidement dans les espaces en libre communication avec la mer, tels que les anciennes baies et les criques, où l'agitation des eaux ne se fait plus que faiblement sentir, et les transforme peu à peu en terrains propres à l'agriculture, que l'on soustrait définitivement aux assauts des flots au moyen d'endiguements.

---



### CHAPITRE III.

#### SITUATION HYDROGRAPHIQUE DE LA CÔTE DES FLANDRES DEPUIS CALAIS JUSQU'A L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT.

---

##### I. — RÉGIME DES PLAGES.

La côte des Flandres, depuis Calais jusqu'à l'entrée de l'Escaut, offre partout les mêmes caractères généraux ; on y rencontre des estrans plus ou moins larges avec des bordures de dunes et en arrière de celles-ci, des terres plates d'alluvions qui émergent par pentes très-faibles, et présentent une grande uniformité.

La ligne des dunes est aujourd'hui régulière et forme, avec les digues et les écluses, une barrière non interrompue contre l'envahissement de la mer. Mais il y huit à neuf siècles, la marée pénétrait encore, par des criques et affluents nombreux, dans l'intérieur des terres et y submergeait de vastes surfaces de terrains, situés le long des cours d'eau.

Parmi les principales criques et anses que l'on voit figurer sur les anciennes cartes, nous citerons l'estuaire de l'Aa, dont la base s'étendait du cap Blanc-Nez à la frontière de Belgique et dont le sommet intérieur se trouvait à Saint-Omer ; les moères de Furnes, actuellement converties en riches polders ; les diverses criques qui existaient dans les environs de Nieuport, de part et d'autre de l'Yser, de même que celles qui s'ouvraient près d'Ostende et se prolongaient jusqu'à Oudenbourg et Eerneghem ; et enfin l'ancien Zwyn, dont l'importance, comme bras de mer fréquenté par les navires, s'est maintenue jusque vers la fin du XVI<sup>me</sup> siècle.

Du temps de César, l'Escaut allait se jeter à la mer par une large branche qui s'étendait, au nord du pays de Beveland et de Walcheren, suivant l'emplacement du bras oriental actuel et qui communiquait à cette époque, comme aujourd'hui, avec les embouchures de la Meuse et du Rhin. Le Hont ou Escaut occidental n'était encore qu'un bras de mer en voie de formation. Il comprenait une baie profonde située à l'endroit où se trouve l'embouchure actuelle du



fleuve, ainsi qu'une suite d'affluents, de marais et de lagunes qui couvraient une grande partie de la Zélande, du Cadzand et des environs du Brackman.

L'un de ces affluents se prolongeait jusqu'à Gand et communiquait, aux environs d'Axel, avec une autre branche qui allait rejoindre le cours de l'Escaut à quelques kilomètres en amont d'Anvers. Ce n'est qu'à partir de 1200 que le Hont s'est creusé et élargi rapidement, sans doute à la suite de quelque débordement de la mer, ayant triomphé des digues que la nature ou l'art avaient opposées à la violence des flots; vers 1500 déjà, il constitua la branche principale du fleuve. <sup>(1)</sup>

Le long de la côte des Flandres, les alluvions modernes forment une couche de terre argileuse grisâtre, quelquefois sableuse, qui se prolonge sur les rives de l'Escaut jusqu'à Anvers. Cette bande glaiseuse, protégée du côté de la mer par le cordon des dunes, est limitée à l'intérieur par des terrains, qui sont presque partout très-sablonneux. La ligne de démarcation part des hauteurs bordant le bassin de l'Aa, longe d'assez près le canal de la Colme et comprend les moères de Furnes; elle se dirige ensuite vers Oeren, passe à Loo et Knocke, puis à Merckem, Woumen et Dixmude. Au delà de Dixmude, elle rentre vers l'intérieur suivant les rives du canal de Handzame, revient sur Beerst et Zevecote, et présente une nouvelle saillie entre Eerneghem et Ghistelles; plus loin, elle traverse les territoires de Westkerke, Oudenbourg, Stalhille, Damme, Aardenbourg, Assenede et passe près de Sas-de-Gand, pour suivre enfin les bords de l'Escaut jusque vers la Tête-de-Flandre, vis-à-vis d'Anvers.

La couche argileuse présente, dans le voisinage de la côte, une épaisseur variant en moyenne de 1<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,00; elle repose généralement sur une couche de tourbe, d'une épaisseur également variable, atteignant en certains endroits jusqu'à 4<sup>m</sup>,50. En dessous de la tourbe, on trouve encore quelquefois de l'argile ou de la vase bleue, mais le plus souvent du sable fin.

Les couches de glaise et de tourbe s'étendent aussi au delà des dunes, car on les voit apparaître en certains points de la plage; et ce qui prouve que la tourbe doit même se prolonger en mer, et y affleurer à la surface de l'estran sous-marin, c'est que les vagues de tempête en rejettent fréquemment des débris sur le rivage.

A l'ouest de Dunkerque, l'épaisseur de la couche d'argile est d'ordinaire beaucoup plus faible qu'à l'est et on n'y rencontre plus de tourbe, sauf dans la petite vallée marécageuse et très-étroite qui s'étend de Sangatte jusque vers Ardres. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Dr Meyne. *Des transformations du littoral des Flandres.*

<sup>(2)</sup> Belpaire. *La plaine maritime depuis Boulogne jusqu'au Danemark.*



Si l'on parcourt la côte de l'ouest à l'est, à partir des dernières falaises du Boulonnais, on rencontre d'abord les plages des environs de Sangatte, dont la largeur ne dépasse pas 500 mètres en moyenne; l'estran se rétrécit ensuite, mais devient plus large près de Calais, où il mesure 900 mètres environ le long du chenal du port. A l'est de celui-ci et jusqu'à la pointe de Walde, il acquiert un développement de 1300 à 1800 mètres, avec une inclinaison de  $0^m,010$  à  $0^m,015$  par mètre entre la laisse des plus basses mers de vive eau et la laisse des hautes mers de morte eau, et avec une inclinaison beaucoup plus faible, de  $0^m,0015$  à  $0^m,002$  par mètre, dans la zone comprise entre les laisses des hautes mers de morte eau et de vive eau; on y observe à la partie supérieure, principalement au droit de la pointe de Walde, une zone de sables mobiles dont le niveau dépasse à peine celui des hautes mers de vive eau ordinaires, mais qui est entièrement submergée dans les grandes marées. La largeur de la plage se réduit plus loin à 900 ou 1000 mètres et les hautes mers de vive eau déferlent près de la dune. Arrivé à une distance de 6 à 7 kilomètres de Gravelines, l'étendue de l'estran croît de nouveau et atteint de 1200 à 1300 mètres, avec une inclinaison de  $0^m,010$  à  $0^m,015$  dans la zone inférieure, jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau; la zone supérieure, d'une largeur de 700 à 800 mètres, est presque horizontale; on y rencontre des dépôts argileux provenant des anciens écoulements de l'Aa.

De Gravelines à Dunkerque, l'estran mesure partout de 1200 à 1600 mètres, avec une inclinaison de  $0^m,010$  à  $0^m,015$  par mètre pour la superficie comprise entre la laisse des basses mers de vive eau et celle des hautes mers de morte eau et avec une inclinaison presque nulle ( $0^m,001$  à  $0^m,0015$ ) pour la partie qui est recouverte en vive eau seulement. La situation est différente cependant à la pointe de Gravelines; la dune présente, en cet endroit, une saillie assez notable sur la ligne générale de la côte, tandis que la laisse des basses mers se maintient suivant une direction sensiblement régulière, de sorte que l'estran n'y conserve que 450 mètres de largeur, avec une inclinaison à peu près uniforme de  $0^m,010$  à  $0^m,012$  par mètre jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau, où se trouve le pied de la dune.

Quant aux dunes qui bordent la côte depuis Calais jusqu'à Dunkerque, elles ont une largeur variant de 500 à 1500 mètres; leur hauteur par rapport au niveau des basses mers reste généralement comprise entre 15 et 25 mètres.

A l'est de Dunkerque et sur une distance de 1 kilomètre environ du chenal de ce port, l'estran a une largeur de 900 mètres avec une inclinaison de  $0^m,007$  à  $0^m,008$  par mètre pour la superficie comprise entre le niveau des basses mers



de vive eau et celui des hautes mers de morte eau, et de 0<sup>m</sup>,003 par mètre pour la zone supérieure; il se rétrécit ensuite rapidement et n'offre plus, sur la partie de la côte qui se termine à Nieuport, que 340 à 475 mètres de largeur, avec une inclinaison de 0<sup>m</sup>,011 à 0<sup>m</sup>,015 jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau; celle-ci s'arrête en moyenne à une distance de 30 à 40 mètres de la dune.

Les dunes sont très-puissantes entre Dunkerque et Nieuport; elles ont de 1200 à 2300 mètres de largeur et de 15 à 25 mètres de hauteur au-dessus de la marée basse. Il existe près de la frontière française, aux environs de la Panne, un monticule ayant 35 mètres d'élévation; c'est la plus haute dune de la côte de Belgique.

A l'est du port de Nieuport, la largeur de la plage est en moyenne de 360 mètres; elle diminue peu à peu lorsqu'on avance vers Middelkerke, où elle est réduite à 300 mètres; son inclinaison reste comprise entre 0<sup>m</sup>,013 et 0<sup>m</sup>,016 par mètre, et la laisse des hautes mers de vive eau se trouve à une distance du pied de la rive variant de 12 à 25 mètres. La plage se maintient sensiblement dans les mêmes conditions entre Middelkerke et Ostende; elle tend plutôt à s'y rétrécir en quelques endroits.

En ce qui concerne les dunes que l'on rencontre le long de cette partie de la côte, elles ont une largeur de 1000 à 1200 mètres de Nieuport à Westende; plus loin, elles deviennent moins puissantes et n'offrent plus que 350 mètres de largeur à Middelkerke, et 120 à 150 mètres entre Middelkerke et Mariakerke. Devant ce dernier village, elles ont une partie faible, de 50 mètres, qui est protégée par l'ancienne digue dite : *d'Albertus*. Cet ouvrage avance de 35 mètres sur l'alignement des dunes avoisinantes; il est consolidé au moyen d'un revêtement en moëllons, précédé de deux épis en maçonnerie de briques et en fascinages, établis sur la plage. Entre la digue d'Albertus et celle existant devant la ville d'Ostende, les dunes ont une largeur moyenne de 130 mètres; leur talus est revêtu d'un perré en briques maçonnes, dont la partie située au droit du fort Wellington a été placée à 85 mètres en saillie du côté de la mer, en vue de l'aménagement des constructions à élever sur ces dunes.

La digue de mer d'Ostende, de 650 mètres de longueur, est déjà ancienne; elle comprend un perré en moëllons dont la construction date du commencement du siècle et qui avance de 160 mètres environ par rapport à la ligne générale des dunes. Comme la laisse des basses mers se maintient régulièrement jusqu'au chenal du port, l'estran n'a que 180 mètres de largeur devant la digue; il est défendu contre les affouillements par quatre épis en maçonnerie de moëllons.



Au delà d'Ostende et jusqu'à une distance d'à peu près 2 kilomètres de l'aubète *du Coq*, située sur le territoire de la commune de Nieuwmunster, l'estran conserve une largeur sensiblement uniforme, de 375 mètres en moyenne, avec une inclinaison de 0<sup>m</sup>,013 environ par mètre dans la zone limitée par la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires; la largeur de la zone supérieure jusqu'au pied de la dune varie de 20 à 40 mètres. L'estran se rétrécit un peu en se rapprochant de l'aubète du Coq; il n'a en ce point que 320 mètres de largeur et les hautes mers y arrivent tout près de la dune. Passé l'aubète, sur une étendue d'environ 2 kilomètres, il semble plutôt s'élargir légèrement, pour se rétrécir ensuite de nouveau; sa largeur n'est plus que de 240 mètres devant le village de Wenduyne, où la côte présente une certaine saillie, connue sous le nom de *pointe de Wenduyne*. (Pl. XVI, fig. 3).

Entre Ostende et Wenduyne, la largeur des dunes varie de 150 à 875 mètres.

A partir de ce village jusqu'à Heyst, les plages et les dunes deviennent particulièrement amaigries et offrent tous les caractères d'un littoral qui tend à être envahi par la mer. C'est ainsi qu'entre la pointe précitée et Blankenberghe, les dunes se réduisent à un amas de sable, adossé contre la digue du Comte Jean, d'une hauteur de 12 à 15 mètres au-dessus du niveau des basses mers et d'une largeur de 20 mètres en moyenne à la base; elles sont protégées, près de Wenduyne, par un perré en briques de 600 mètres de longueur. La digue du Comte Jean, construite au XIV<sup>me</sup> siècle, constitue en cette partie de la côte, la principale défense contre les assauts de la mer; elle est entièrement formée de terre glaise et couverte en partie par le sable des dunes. Devant la station balnéaire de Blankenberghe, la dune est revêtue, du côté de la mer, et sur 1750 mètres de longueur, d'un perré maçonné en moëllons de Tournai, de construction récente; un pavement en briques maçonnées, de 18 mètres de largeur, est établi au niveau du couronnement du perré et sert de promenoir.

Les dunes de la partie de la côte, comprise entre Blankenberghe et les écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de Schipdonck, qui débouchent à la mer près de Heyst, n'ont qu'une largeur moyenne de 40 à 50 mètres à la base, et beaucoup moins en plusieurs endroits (Pl. XVI, fig. 1). La digue du Comte Jean se trouve en arrière de ces dunes; elle en est séparée par des parties de terrains plats, situés sous le niveau des hautes mers et désignés sous la dénomination de *pannes*. Au delà des écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de Schipdonck, il existe un perré entièrement semblable à celui de Blankenberghe, d'une longueur totale de 1600 mètres, et se terminant à l'extrémité est du village de Heyst.



Sur toute l'étendue de la partie de la côte comprise entre Wenduyne et ce village, l'estran n'a en moyenne que 230 mètres de largeur, avec une inclinaison sensiblement uniforme de 0<sup>m</sup>,018 à 0<sup>m</sup>,020 par mètre; il est défendu contre l'action érosive de la mer par de nombreux épis en fascinages ou en maçonnerie.

Les dunes s'élargissent rapidement, lorsqu'on quitte Heyst pour se rapprocher de Knocke; elles ont 300 mètres de largeur environ devant l'ancienne station du chemin de fer de Heyst, et près de 1500 mètres au phare de Knocke; leur hauteur varie de 15 à 25 mètres au-dessus du niveau des basses mers. A l'est de ce dernier village, elles se divisent en trois chaînes différentes, séparées par de vastes pannes et des parties de terrains cultivés. La première, située près de la mer, a environ 400 mètres de largeur et 13 mètres de hauteur moyenne; elle limite au nord les schorres sableux et les sables couverts d'herbe et d'argoussiers, qui s'étendent devant le polder du Hazegras et va rejoindre, en se rétrécissant et en s'inclinant vers le sud, la digue du nouveau polder Willem-Léopold; la seconde, d'une largeur très-variable, se trouve au sud de la première et va se terminer à la digue Saint-Paul; enfin, la troisième, de 150 à 200 mètres de largeur, longe les terres intérieures jusqu'au polder du Prince. (Pl. XVI, fig. 2).

Près de l'ancienne crique du Zwyn, il se forme une nouvelle dune, qui prend son origine à l'extrémité de la dune de mer de Knocke et s'étend déjà, suivant la direction de celle-ci, jusqu'à un point situé à 500 mètres environ du chenal de cette crique; ce bourrelet de sable a une largeur de 20 à 30 mètres et une hauteur de 6 à 7 mètres; on en favorise le développement au moyen de plantations d'oyats et d'épines.

L'estran situé à l'est du perré de Heyst, a 250 mètres de largeur jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau, avec une inclinaison moyenne de près de 0<sup>m</sup>,02 par mètre; il se rétrécit ensuite et n'a plus que 220 mètres devant le phare de Knocke; la dune avance légèrement en ce point par rapport à la direction générale de la partie de la côte comprise entre Heyst et le Zwyn. Au delà du phare de Knocke, la largeur de l'estran augmente rapidement et atteint plus de 600 mètres de l'extrémité de la nouvelle dune en voie de formation; la plage offre en cet endroit une inclinaison de 0<sup>m</sup>,010 à 0<sup>m</sup>,015 par mètre jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau, et une inclinaison beaucoup plus faible dans la zone supérieure, de 350 mètres de largeur environ, qui se termine à la laisse des hautes mers de vive eau. La nouvelle dune se trouve au-dessus de cette zone et derrière elle on rencontre les relais limoneux de l'ancien Zwyn.

Le Zwyn était au moyen-âge un bras de mer large et profond, qui s'étendait par une de ses nombreuses ramifications jusqu'à Damme, où il formait un port



important. (1) Le long de ce bras de mer et de ses affluents, il existait de vastes criques, où d'énormes masses d'eau s'épanchaient à chaque marée et entretenaient, par leur mouvement alternatif de montée et de descente, de grandes profondeurs dans les artères principales. Mais à mesure que les endiguements successifs ont fait disparaître ces criques, ainsi que les terres basses riveraines submergées par les hautes mers, le Zwyn s'est envasé peu à peu; déjà au commencement de ce siècle, toutes ses ramifications étaient converties en polders, et la profondeur du bras de mer lui-même était devenue très-faible.

Aujourd'hui le Zwyn est complètement fermé. Le dernier endiguement a eu lieu en 1872, lors de la construction de la digue internationale du Zwyn, et comprenait 629 hectares de terrains de schorre, se trouvant en partie sur le territoire de la Belgique et en partie sur le territoire de la Hollande; il existe devant cette digue un vaste plateau, le Zeehondenplaat, qui est protégé à l'ouest par le nouveau bourrelet littoral situé en prolongement des dunes de Knocke. Au delà du Zeehondenplaat, et tout le long de la côte de Cadzand, l'estran n'a qu'une largeur relativement faible et est défendu par des épis en fascinages.

On voit par la description qui précède que le régime des plages varie beaucoup entre Calais et l'embouchure de l'Escaut.

Le long de la côte française, jusqu'à Dunkerque, l'estran est généralement très-développé; il présente à la pointe de Walde, de même que dans le voisinage des ports et des anciens chenaux, une zone inférieure de 350 à 500 mètres de largeur, s'arrêtant au niveau des hautes mers de morte eau, et une zone supérieure, de 800 à 1000 mètres de largeur, terminée par la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires; en quelques endroits, principalement à l'ouest des ports de Dunkerque et de Gravelines et à la pointe de Walde précitée, on rencontre une troisième zone qui n'est submergée que par les hautes mers des grandes marées.

La plage est beaucoup moins large entre Dunkerque et Nieuport; elle mesure de 350 à 450 mètres et n'atteint qu'exceptionnellement 500 mètres; son inclinaison y est à peu près uniforme jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau ordinaires, qui se tient à une trentaine de mètres en moyenne du pied des dunes.

A l'est de Nieuport, la largeur de la plage n'est que de 360 mètres, et elle diminue encore à mesure qu'on approche d'Ostende, pour augmenter de nouveau légèrement au delà de ce port. Mais, à partir de la pointe de Wenduyn jusqu'au village de Heyst, l'estran n'offre plus que 230 mètres de largeur moyenne et la

(1) Andries. *Recherches historiques sur les voies d'écoulement des eaux des Flandres.*



laisse des hautes mers de vive eau ordinaires y longe le pied des dunes; celles-ci ont généralement une très-faible épaisseur et ont dû être renforcées en divers endroits par des travaux de main d'homme.

Enfin, au droit de l'embouchure de l'ancien Zwyn, la plage atteint 600 mètres de largeur environ; on y rencontre, entre le niveau des hautes mers de morte eau et celui des hautes mers de vive eau, une zone très-faiblement inclinée, de 300 à 400 mètres de largeur, offrant beaucoup d'analogie avec les parties correspondantes des plages qui se trouvent le long de la côte française, à l'ouest de Dunkerque et de Gravelines.

II. — DES BANCs ET DES PASSES DE LA CÔTE DES FLANDRES, DEPUIS CALAIS JUSQU'À BLANKENBERGHE. — CONDITIONS D'ACCESSIBILITÉ DES PORTS DE CE LITTORAL.

**Atterrages de Calais et de Gravelines.** — Le premier banc que l'on rencontre le long de la côte française, au N.E. du cap Gris-Nez, et qui est appelé à *la Ligne*, s'étend à 2 milles <sup>(1)</sup> au large du rivage, entre Wissant et le cap Blanc-Nez; sa partie S.O. présente un petit plateau découvrant à basse mer; les hauts-fonds de son extrémité N.O., qu'on nomme *la Barrière*, n'offrent que 1<sup>m</sup>30 à 3<sup>m</sup>00 d'eau à marée basse.

L'approche du banc à la Ligne est très-dangereuse pour les navires à cause de la grande vitesse des courants dans ces parages; cette vitesse atteint jusqu'à 2<sup>m</sup>,15 pour le flot et 2<sup>m</sup>,05 pour le jusant pendant les marées moyennes de vive eau.

On remarque plus loin les fonds de roches des Quenocs, situés à 2 milles au large du rivage entre les rums N.O. et N.E. du cap Blanc-Nez et où il ne reste que 2<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse.

Le port de Calais se trouve à l'entrée de la mer du Nord, à 11 <sup>1</sup>/<sub>2</sub> milles au N.E. <sup>1</sup>/<sub>4</sub> E. du cap Gris-Nez. L'estran sous-marin qui précède le chenal, présente une inclinaison de 0<sup>m</sup>,015 par mètre et se prolonge jusqu'aux fonds de plus de 10 mètres sous marée basse, qui séparent la plage du Riden de Calais et forment la rade du port.

Le Riden de Calais est un banc long et étroit, situé presque parallèlement à la côte et où l'on trouve, à marée basse, près de 7<sup>m</sup>,00 d'eau à l'endroit le plus élevé. Il ne peut être considéré comme un abri pour la rade, quoique les lames se brisent sur toute sa surface pendant les coups de vent du nord.

A un mille au N.O. de l'entrée du chenal, se trouvent les Ridens de la rade, sur lesquels il reste au moins 8<sup>m</sup>,00 d'eau à basse mer. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Le mille marin équivaut à 1852 mètres.

<sup>(2)</sup> *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Aron.



Les navires qui arrivent de l'ouest pour Calais, de même que ceux en destination pour Gravelines ou Dunkerque, tâchent d'approcher de la côte à la hauteur du cap Blanc-Nez, lequel, pendant le jour, est très-reconnaissable à une grande distance en mer; ils gouvernent ensuite vers le N.E., de manière à passer en dehors de la Barrière et des Quenocs. Pendant la nuit, cette partie de la côte est signalée par le phare du cap Gris-Nez, feu de premier ordre, électrique, à éclipses de 30 en 30 secondes, et par celui de Calais, feu de premier ordre, varié par des éclats de 4 en 4 minutes.

En venant du nord, et par une brise fraîche et favorable, les navires gouvernent directement sur le port et peuvent passer au-dessus du Riden de Calais entre le tiers du flot et les deux tiers du jusan. Si le jusan est trop avancé, ils se dirigent parallèlement à la côte, vers la rade.

Le chenal du port de Gravelines est situé à 10 milles dans l'E.N.E. de Calais et forme actuellement l'embouchure de la rivière de l'Aa.

L'estran sous-marin, situé en prolongement de la plage dans le voisinage du port, est très-faiblement incliné et ce n'est qu'à 2 ou 3 kilomètres de la côte que l'on trouve les fonds de 10 mètres. <sup>(1)</sup>

Les navires qui viennent de l'ouest, en destination de Gravelines, longent la côte, en se tenant en dehors des bouées qui signalent la Barrière, les Quenocs et le Riden. A partir du méridien de Calais, ils gouvernent sur le port en laissant le Dyck occidental à bâbord.

Ceux qui arrivent du nord se dirigent sur le phare de Calais, mais de façon à éviter les bancs de Sandettie et du Buiten-Ruytingen, dont nous parlons plus loin.

**Bancs des Flandres, situés dans le nord de Gravelines et de Dunkerque.** On désigne spécialement sous ce nom, l'agglomération des bancs de sable qui s'étendent du S.O. au N.E., sur un développement d'environ 40 milles marins, devant Dunkerque, Nieuport et Ostende. (Pl. IV).

Le premier que l'on rencontre, en arrivant du nord vers les parages de Calais ou de Dunkerque, est le Sandettie. Ce banc, dont l'extrémité S.O. se trouve à 14 milles au N.  $\frac{1}{4}$  N.E. de Calais, s'étend dans la direction N.E. sur une longueur de 12 milles environ, avec des talus très-raides au S. et au S.E. On y sonde de 10 à 14 mètres d'eau et en quelques points de 7 à 8 mètres seulement.

Le Buiten-Ruytingen, situé à mi-distance entre la côte et le Sandettie, est séparé de ce dernier par un canal de 5 milles de largeur, avec des fonds de 27 à 36 mètres de profondeur, formés de gros sable, coquillages et pierres; sa longueur

(1) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur en chef Plocq.



est de près de 16 milles; mais, à une distance de 7 kilomètres de son extrémité S.O., il est interrompu par une dépression, où l'on trouve 12 à 22 mètres d'eau, et qui peut toujours être utilisée par les navires en destination pour Calais ou Gravelines. Les talus du Buiten-Ruytingen sont très-raides du côté intérieur; ils le sont moins du côté N.O. Sur le sommet du banc, on trouve en moyenne de 5 à 8 mètres d'eau à marée basse, avec des parties surélevées où il n'y a que 3 à 4 mètres.

A l'est du Buiten-Ruytingen, et dans la direction de ce plateau, on rencontre le banc de Bergues, et entre ces deux bancs, un peu vers l'intérieur, le Binnen-Ruytingen. La profondeur du banc de Bergues est d'environ 8 mètres dans ses parties les plus élevées; celle du Binnen-Ruytingen varie en moyenne de 7 à 11 mètres.

La passe qui sépare le Buiten-Ruytingen du Binnen-Ruytingen, a une profondeur de 20 à 30 mètres, avec fonds de sable, gros graviers et coquillages; pour la traverser, les navires tiennent le phare de Gravelines au S. 15° O. par le feu flottant de Ruytingen.

Au sud des Ruytingen se trouve une seconde ligne de bancs, séparée de la première par un chenal large et profond, et comprenant le Dyck occidental, le Dyck central et le Dyck oriental ou Clif d'Islande.

Le Dyck occidental a 9 milles de longueur, près de  $\frac{1}{2}$  mille de largeur et de 6 à 7 mètres de profondeur au sommet; les talus en sont très-raides des deux côtés. Il est relié au Dyck central par une partie étroite où l'on trouve de 8 à 10 mètres d'eau à marée basse. Ce dernier banc, d'une largeur d'environ 1000 mètres, est accore partout et de profondeur fort inégale; il occasionne beaucoup de brisants par les vents du N.O. Le Dyck oriental s'étend en pointe jusqu'à 51° 21' de latitude nord; on n'y sonde que 2<sup>m</sup> 80 à 4<sup>m</sup> 00 d'eau dans la partie culminante située du côté S.O., et de 5<sup>m</sup> 50 à 8<sup>m</sup> 00 à l'extrémité N.E. Il est très-accore et entouré par des fonds de 20 à 30 mètres.

Le banc du Binnen-Ratel est situé au sud du Dyck central, à l'extrémité S.O., auquel il est presque réuni par un étroit plateau de sable avec 6 à 9 mètres d'eau. Il a des talus très-raides et présente une partie surélevée où l'on ne sonde que 1<sup>m</sup>, 00 à 3<sup>m</sup>, 00 de profondeur à marée basse. Le Buiten-Ratel s'étend dans la direction du Binnen-Ratel et à peu près parallèlement au Clif d'Islande, dont il est séparé par un chenal de 2  $\frac{1}{2}$  milles de largeur avec 20 à 25 mètres d'eau. Ce banc, qui a 8  $\frac{1}{2}$  milles de longueur et 1 mille de largeur moyenne, présente des endroits ayant à peine 3<sup>m</sup>, 00 de profondeur à marée basse.

Au sud des plateaux du Ratel, on rencontre la ligne des bancs du Breedt,



formée du Breedt occidental et du Breedt oriental ou Kwintebank, dont l'extrémité N.E. s'étend jusque devant le littoral de Belgique par 0°20' de longitude est.

Le Breedt occidental est très-large dans le N.N.O. de Dunkerque; on n'y trouve, sur une grande partie de son étendue, pas plus de 2<sup>m</sup>,00 à 3<sup>m</sup>,50 de profondeur sous marée basse.

Le chenal situé entre le Breedt et le Binnen-Ratel est barré par un haut-fond où il ne reste que 6<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse; il offre partout ailleurs 15 à 20 mètres de profondeur moyenne.

Le Kwintebank a  $\frac{3}{4}$  de mille de largeur environ et 5<sup>m</sup>,00 à 6<sup>m</sup>,00 d'eau au sommet; il est séparé du Buiten-Ratel par des fonds de 20 à 25 mètres.

A l'intérieur de la ligne des Breedt, se trouve le Smalbank. Celui-ci présente, dans sa partie ouest, un plateau surélevé d'environ 7 milles de longueur, avec 1<sup>m</sup>,00 à 4<sup>m</sup>,00 d'eau à basse mer. Il se soude du côté S.O. au Hills, en barrant par des profondeurs de 5<sup>m</sup>,50 le chenal qui se dirige au sud du Breedt vers la rade de Nieuport; sa pointe ouest se relève vers le nord et va rejoindre la partie centrale du Breedt suivant un plateau où l'on ne sonde que 4<sup>m</sup>,50 d'eau au sommet. Le Smalbank est relié au banc de Nieuport par des fonds offrant 7<sup>m</sup>,00 à 8<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse.

En se rapprochant du rivage, on rencontre une nouvelle suite de bancs soudés les uns aux autres et connus sous les noms de haut-fond de Gravelines, Snouw, Braeck, Hills et Traepegeer. Ces deux derniers bancs sont séparés par une dépression de 7<sup>m</sup>,00 de profondeur minimum à marée basse, dépression qui constitue la passe de Zuydcote et relie la rade de Dunkerque à celle de Nieuport. Le Traepegeer se réunit à la plage près d'Adinkerke. Le haut-fond de Gravelines, de 1 mille de surface environ, est situé à 2 milles dans l'O.S.O. de l'extrémité occidentale du Breedt et présente 6<sup>m</sup>,00 de profondeur au sommet.

Le Snouw est un plateau étroit, situé à peu près parallèlement à la côte depuis la pointe de Gravelines jusqu'au Braeck; on y sonde de 5 à 10 mètres d'eau à l'extrémité ouest, mais il se relève beaucoup du côté est. Le Braeck commence par 0°4'20" de longitude ouest et 51°4'30" de latitude, et forme le prolongement du Snouw, auquel il est réuni par des fonds de 6<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,00; sa partie culminante forme un plateau d'environ 500 mètres de largeur, avec une profondeur d'eau variant de 1<sup>m</sup>,50 à 4<sup>m</sup>,00. C'est un banc fort accore, dont les talus semblent s'élever des fonds de la rade de Dunkerque comme un mur. Quant au Hills, il est compris entre l'extrémité est du Braeck et la passe du Zuydcote, le long de laquelle il se relève suivant une direction N.E.; son talus sud est également très-raide. A marée basse, ce plateau ne présente, dans la plus grande



partie de son étendue, que 1<sup>m</sup>,00 à 3<sup>m</sup>,00 d'eau et affleure en plusieurs points, situés dans le N.E. de Dunkerque.

Le Traepegeer constitue la limite est de la rade de Dunkerque; il offre des profondeurs variant de 2<sup>m</sup>,00 à 5<sup>m</sup>,00 dans sa partie la plus élevée et est séparé par des fonds de 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,20 du plateau nommé *le Broers*, situé en face de Coxyde, à une distance de 2 kilomètres environ du rivage.

**Rade de Dunkerque.** — La rade de Dunkerque est formée par le sillon étroit qui longe la côte et qui est limité au nord par le Braeck et le Hills et à l'est par le Traepegeer. Elle a environ 20 kilomètres de longueur, 1 kilomètre de largeur et un tirant d'eau de 12 à 18 mètres en basse mer. Le fond est d'une bonne tenue et la mer y est le plus souvent assez calme pour que les bâtiments de commerce, et notamment les grands vapeurs charbonniers anglais, puissent transborder sans difficulté une partie de leur chargement. Elle est accessible par deux passes, celle de l'est ou de Zuydcote et celle de l'ouest.

La première court N. 30° E. et S. 30° O. entre le Hills et le Traepegeer; on y trouve 7<sup>m</sup>,00 de profondeur à basse mer. La seconde, de 4 milles de longueur environ, est limitée par les hauts-fonds qui tiennent à la terre et par le Snouw. Elle est notablement plus profonde; la soudure ou barre qui la traverse près de l'entrée de la rade, entre la plage du Mardick et la pointe occidentale du Braeck, offre encore 10 mètres d'eau au moins à marée basse, sur une largeur de 200 à 300 mètres.

Cette dernière passe est celle qui est le plus généralement fréquentée par les navires, non seulement à cause de sa profondeur, mais aussi de sa situation plus avantageuse par rapport au régime des courants de marée du littoral.

Le port de Dunkerque se trouve à peu près au milieu de la longueur de sa rade; l'estran sous-marin qui fait suite aux atterrissements existant devant l'entrée du chenal, est relativement raide et se raccorde avec les fonds de 10 mètres de la rade, sous une inclinaison d'environ 0<sup>m</sup>,05 à 0<sup>m</sup>,07 par mètre.

La rade de Dunkerque se présente dans d'excellentes conditions pour la fréquentation des navires et constitue un des grands avantages naturels de ce port. Elle est abritée de la grosse mer, pendant les coups de vent du nord, par les nombreux bancs qui s'étendent devant elle, surtout par le Braeck et le Hills. Grâce à l'organisation d'un bon service de remorquage, de l'éclairage flottant et du balisage, elle est actuellement accessible aux plus gros bâtiments, lesquels peuvent y stationner en sécurité dans toutes les saisons et par tous les vents, sans avoir d'autres sinistres à craindre que ceux provenant de ruptures de chaînes; et encore les accidents de ce genre n'ont-ils lieu que fort rarement.



Pendant le jour, la limite extérieure des bancs des Flandres, depuis le banc de Bergues jusqu'à l'extrémité occidentale du Buiten-Ruytingen, est indiquée au moyen de sept bouées en tôle, de grandes dimensions et faciles à distinguer. A l'entrée de la passe comprise entre le Buiten et le Binnen-Ruytingen, se trouve un ponton portant une sphère rouge en tête de mât et le nom de *Ruytingen* inscrit sur ses flancs.

Les deux passes d'entrée et les limites nord et sud de la rade sont signalées au moyen de douze autres bouées, de forme et d'aspect différents. Deux pontons, semblables à celui des Ruytingen et désignés par les noms de *Dyck* et de *Snouw*, sont placés à 6 milles de distance l'un de l'autre; ils indiquent plus spécialement l'entrée de la passe de l'ouest. Ces trois pontons portent, pendant la nuit, des feux de couleur et de portée distinctes, de manière à être parfaitement reconnaissables. De la combinaison des feux du cap Gris-Nez, de Calais et de la pointe de Walde avec ceux de Gravelines, de Ruytingen et de Dunkerque, les navigateurs déduisent les indications nécessaires pour éviter les bancs des Flandres. En se rapprochent de la côte, ils se guident sur le feu flottant du Dyck, et ceux qui arrivent de l'ouest se dirigent vers la rade, en prenant ce feu par le phare de Dunkerque, jusqu'à ce qu'ils voient le feu flottant du Snouw par le feu flottant du Dyck. Cet alignement donne le gisement de la rade depuis son entrée ouest jusqu'à l'est du port.

Les navires qui viennent du nord peuvent entrer dans la rade, sans doubler à l'ouest toute la partie occidentale des Ruytingen, en suivant la direction donnée par la combinaison du phare de Gravelines avec le feu flottant du Ruytingen. Pour passer de la rade dans le port, ils prennent l'un par l'autre deux fanaux placés à l'extrémité des jetées. Un troisième feu est allumé sur la tour du Leugenaar, située à l'angle formé par la direction du chenal et celle des bassins à flot, à 2200 mètres dans le S. 39° E. de l'extrémité du chenal. Comme le courant de flot porte à travers la passe d'entrée et acquiert sa plus grande vitesse vers l'heure du plein, c'est-à-dire au moment où les grands bâtiments peuvent attaquer le port, ceux-ci éprouvent souvent de sérieuses difficultés, tant à l'entrée qu'à la sortie; mais l'emploi de remorqueurs et l'existence des signaux de marée facilitent notablement la communication entre la rade et le port.

Un fait important à noter, c'est qu'il y a quelques années à peine, l'on considérait encore la rade de Dunkerque comme un simple mouillage provisoire, dans lequel les navires attendaient le moment favorable pour entrer dans le port. Ce n'est que depuis 1863, lorsque le balisage des passes d'accès a été terminé et que les premiers feux flottants ont été allumés, que les bâtiments de



commerce ont commencé à y stationner; peu à peu, l'habitude a été prise et la confiance est venue aux marins. Mais c'est surtout pendant l'hiver de 1870-1871, époque de la guerre franco-allemande, que l'expérience a été décisive. Des escadres cuirassées, comprenant les plus gros vaisseaux de la Marine militaire française, le *Solferino* et l'*Océan*, sont venues y séjourner, pendant des mois entiers, sans éprouver la moindre avarie et sans causer aucun embarras aux navires marchands. <sup>(1)</sup>

**Bancs des Flandres, situés dans le nord de Nieuport et d'Ostende.** (Pl. IV). — Le banc de Middelkerke s'étend au large de la côte, devant le village de ce nom; il est dirigé du N. 30° E. au S. 30° O. et présente une longueur d'environ 5 milles, avec 5 à 8 mètres d'eau, en moyenne, à marée basse. A 1 1/2 mille dans l'ouest de ce plateau se trouve le Kwintebank, mentionné plus haut; le canal du Nord, qui conduit vers la rade de Nieuport, est situé entre ces deux bancs.

A l'est du banc de Middelkerke on rencontre le banc d'Ostende, dont l'extrémité S.O. est soudée au précédent par des fonds de moins de 10 mètres; on y sonde de 7 à 8 mètres d'eau à marée basse, sauf en quelques endroits où il y a à peine 6 mètres.

Le banc de Nieuport est situé devant la plage de Nieuport et par le travers de l'extrémité S.O. du banc de Middelkerke. Il court à peu près parallèlement à la côte et n'a que 4<sup>m</sup>,00 de profondeur environ dans ses parties les plus élevées; il est relié du côté ouest au Smalbank par un plateau étroit, où l'on sonde de 8 à 10 mètres.

Le Stroombank est un plateau allongé et peu élevé qui s'étend à l'est de Nieuport, passe devant le port d'Ostende et tend à rejoindre la plage devant Clemskerke; sa partie culminante est limitée au nord par une courbe très-irrégulière et présente une largeur variant de 450 à 1000 mètres avec 2<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse. Ce banc sépare la petite rade de la grande rade d'Ostende; il est très-accore du côté sud.

Au N.E. du Stroombank, on observe le banc de Wenduyne, situé dans une direction E.N.E., depuis Ostende jusque par le travers de Blankenberghe; on y sonde partout de 4 à 6 mètres d'eau, sauf à la partie centrale, où il existe des plateaux de 4 mètres de profondeur seulement.

**Rade de Nieuport.** — La rade de Nieuport, désignée sur les cartes marines sous le nom de *Westdiep*, est limitée à l'ouest par les bancs du Hills et du Smal, au nord par ce dernier banc et le banc de Nieuport, à l'est par le Stroombank, au sud par le Traepegeer, le Broers et la terrasse sous-marine qui longe

(<sup>1</sup>) Plocq. *Ports maritimes de la France*. Notice citée.



la côte. Elle a une longueur d'environ 16 kilomètres, une largeur moyenne de 2 kilomètres et un tirant d'eau de 12 à 18 mètres à marée basse. Le fond, presque exclusivement composé de sable mêlé de coquillages, est d'un bon ancrage pour les navires.

Cette rade est accessible par quatre passes : le canal du Nord, situé entre le Smalbank et le Kwintebank d'un côté et les bancs de Nieuport et de Middelkerke de l'autre ; le canal du N.E., compris entre l'extrémité orientale du banc de Nieuport et l'extrémité occidentale du Stroombank ; le canal de l'Est, qui se trouve au sud de ce dernier banc et forme la continuation de la rade intérieure d'Ostende ; enfin le canal de l'ouest ou de Zuydcote, qui communique avec la rade de Dunkerque.

Le canal du Nord offre une profondeur de 10 à 15 mètres, mais il est traversé près de son extrémité sud par le haut-fond qui relie le Smalbank au banc de Nieuport. En 1866, la profondeur d'eau constatée au-dessus de ce haut-fond par M. Stessels n'était que de 5<sup>m</sup>,50 à marée basse ; la reconnaissance hydrographique de la côte nord de Belgique, effectuée en 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, ne s'étend pas jusqu'à ce point ; mais la dernière ligne des sondes passe à 3000 mètres environ dans l'est de celui-ci et accuse une profondeur de 7<sup>m</sup>,50, à l'emplacement qu'occupait en 1866 l'extrémité ouest du banc de Nieuport.

Cependant les sondages auxquels cet hydrographe a procédé en 1883 et dont il a bien voulu nous communiquer les principaux résultats, en attendant que la carte en soit publiée, montrent que la passe du Nord s'est beaucoup améliorée. Sa profondeur, dans la partie la plus sèche, est de 8<sup>m</sup>,30 à 9<sup>m</sup>,00 sous le niveau de basse mer, de sorte que la rade de Nieuport est accessible de ce côté aux navires de commerce du plus fort tonnage (<sup>1</sup>). Le Smalbank s'est en même temps approfondi à son extrémité est ; on y trouve actuellement une dépression avec 7<sup>m</sup>,00 d'eau au moins, conduisant des grands fonds compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank vers la rade, tandis que la carte de 1866 ne renseigne en cet endroit que 4<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,30.

Jusqu'à présent, la passe du Nord n'est pas balisée, et, comme elle est très-éloignée de la côte, les navigateurs ont beaucoup de peine à distinguer les amers. Pour la traverser, ils tiennent d'ordinaire l'église de Furnes par le côté ouest du Broersduyn au S. 18° 30' E.

Le canal du N.E. établit la communication entre la rade de Nieuport et la grande rade d'Ostende. Il présente de 600 à 1000 mètres de largeur entre les

(<sup>1</sup>) Voir chapitre IV.



courbes de niveau limitant les fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 de profondeur sous marée basse. Les navires qui viennent de la rade de Nieuport, traversent cette passe en amenant le clocher de Nieuport au S. 27° E. et en gouvernant au N. 27° O. jusqu'à ce que Middelkerke reste au S. 80° E.; ils prennent ensuite la direction N. 50° E. pendant 4 milles environ, et débouchent dans la rade d'Ostende. Lorsqu'ils arrivent de cette dernière rade pour se rendre dans celle de Nieuport, ils tiennent Ostende au S. 80° E. et Middelkerke au S. 10° E.; puis ils font un mille à l'O. 24° S. et traversent la passe en gouvernant au S.O., jusqu'à ce que le clocher de Nieuport soit amené au S. 27° E.

Le canal de l'Est relie la rade de Nieuport à la petite rade d'Ostende; il s'étend parallèlement à la côte par des fonds d'environ 10 mètres de profondeur.

Le canal de Zuydcote donne accès aux navires qui viennent de l'ouest par la rade de Dunkerque. C'est la route la plus sûre pour approcher du port de Nieuport, car elle est praticable, en tout temps, aux plus grands navires jusqu'à l'entrée de la passe et ceux-ci peuvent attendre, le cas échéant, dans la rade de Dunkerque, le moment favorable pour se rendre dans celle de Nieuport. La passe elle-même offre 7<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse et est signalée au moyen de quatre bouées, dont deux sont placées au nord du banc du Traepegeer et les deux autres, de couleur différente, le long du talus est du Hillsbank. Elle est accessible à toute heure de la marée aux navires de 5<sup>m</sup>,50 de tirant d'eau, mais les grands bâtiments ne peuvent s'y engager qu'à marée haute et avec un vent favorable. Pour la traverser, les navigateurs tiennent le grand clocher de Bergues visible à l'ouest de l'église de Leffrinckoucke, au S. 15° O., en ayant soin de ne pas trop approcher de la pointe du Traepegeer; en entrant dans la rade, ils gouvernent à l'E. 27° N., afin d'éviter le Smalbank, qui est extrêmement accore et dangereux dans le nord de la Tour des sables.

Vers l'extrémité est de la rade de Nieuport se trouve le port de ce nom; l'estran sous-marin qui le précède a une inclinaison moyenne de 0<sup>m</sup>,01 environ par mètre jusqu'à la courbe des fonds de 5 mètres sous marée basse; au delà de cette courbe, il est beaucoup moins incliné, mais il se raidit ensuite de nouveau en se raccordant avec les fonds de plus de 10 mètres du Westdiep.

Nous avons à faire ressortir ici que la rade de Nieuport est de beaucoup la meilleure du littoral belge. Elle est profonde et spacieuse, et le fond y est d'une bonne tenue. L'on ne saurait cependant lui reconnaître des conditions d'accès et de sécurité aussi favorables que celles de la rade de Dunkerque. Le simple aspect de la carte des bancs des Flandres montre en effet qu'elle est moins abritée contre les coups de vent du nord, et que les abords en sont plus difficiles pour les navires.



Tandis que la passe de l'Ouest de la rade de Dunkerque est profonde et bien orientée par rapport à la direction du flot, la passe de l'Ouest de la rade de Nieuport ne peut être traversée par les grands bâtiments qu'à marée haute; quant à celle du N.E., elle est difficilement praticable par les vents de l'O. au S.O., qui sont les vents régnants. Toutefois, nous l'avons dit plus haut, l'accès de la rade s'est notablement amélioré dans le nord depuis 1866, et la passe existant de ce côté offre aujourd'hui une profondeur minimum de 8 mètres à marée basse.

Il est à remarquer d'ailleurs que les difficultés d'accès, résultant de l'orientation des passes, perdent de jour en jour de leur importance, depuis que la navigation à vapeur tend à se substituer partout à la navigation à voiles, et qu'elles peuvent être considérablement diminuées par le balisage et l'éclairage flottant, et par l'organisation d'un bon service de remorquage. Le meilleur exemple à citer sous ce rapport est celui de Dunkerque; comme on le sait, ce n'est qu'à partir de 1864, après que l'administration de la Marine française eût établi un ensemble de bouées et de feux flottants, pour signaler aux marins, d'une manière parfaitement reconnaissable, tant le jour que la nuit, le gisement de la rade de ce port et de ses passes d'accès, que les navires marchands ont commencé à y prendre leur mouillage; et il a fallu quelques années d'expérience, complétées en 1870, époque de la guerre franco-allemande, par le stationnement dans ces parages des escadres cuirassées de la Marine militaire française, pour reconnaître définitivement à la rade de Dunkerque toutes les qualités que sa situation hydrographique avait laissé prévoir.

Sans être compétent en cette matière, qui est essentiellement du domaine du marin, nous croyons qu'en adoptant la voie qui a été suivie avec tant de succès à Dunkerque, on pourrait également rendre la rade de Nieuport d'un accès relativement facile aux navires du plus fort tonnage. Mais ce mouillage est considéré comme étant trop peu abrité pour permettre le stationnement des grands bâtiments par les coups de vent du large. Aujourd'hui la rade de Nieuport est fréquentée par les navires de faible tirant d'eau, qui ont la ressource, en cas de chasse sur les ancres ou de rupture de chaînes, de pouvoir se sauver par l'une des trois passes de l'Est, du N.E. ou de l'Ouest, suivant la direction du vent. Cependant, d'après les renseignements des pilotes, les accidents de cette nature n'y ont eu lieu que fort rarement et il est possible que, si dans l'avenir le port de Nieuport était destiné à recevoir un développement sérieux et à subir à cet effet les transformations nécessaires, l'expérience établirait peu à peu que les qualités de sa rade sont meilleures qu'on ne l'a cru jusqu'à présent.



**Rades d'Ostende.** — Il existe deux rades devant le port d'Ostende : la rade extérieure et la rade intérieure. La première, appelée *Grande rade*, est située au nord du Stroombank, entre les bancs de Nieuport, d'Ostende et de Wenduyn; elle a 7 milles de longueur de l'E.N.E. à l'O.S.O., un mille de largeur et de 10 à 12 mètres de profondeur, sur des fonds de sable et de vase.

Les navires qui arrivent de la direction de l'Escaut, en destination pour Ostende, se rendent généralement vers cette rade en passant au sud du banc de Wenduyn; ceux qui viennent du N.O., prennent le chenal qui sépare les bancs de Middelkerke et d'Ostende, et passent au-dessus de l'extrémité est du banc de Nieuport. Ils mouillent d'ordinaire en relevant le grand clocher d'Ostende au S. 60° E. et le clocher de Nieuport au S. 27° O., par 10 à 12 mètres d'eau. Mais la rade extérieure d'Ostende n'est qu'un mouillage provisoire, où les grands navires attendent le moment favorable pour entrer dans le port. Lorsqu'ils sont surpris par une tempête du S.O., ils prennent le plus promptement possible le large; quand le vent souffle d'une région comprise entre le nord et l'ouest, ils courent de préférence vers l'Escaut.

La rade intérieure d'Ostende, ou *Petite rade*, s'étend le long de la côte au sud du Stroombank, entre Middelkerke et le Spaniardduin; elle a 8 à 10 mètres de profondeur depuis son extrémité ouest jusque par le travers de Mariakerke, 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,50 devant Ostende et 4<sup>m</sup>,20 à 5<sup>m</sup>,00 seulement devant la plage de Breedene. Le fond, composé principalement de vase, est d'une tenue médiocre, dans le voisinage du port surtout.

Cette rade n'est guère praticable par de mauvais vents. En temps calme, les navires d'un faible tirant d'eau peuvent passer, vers la mi-marée, de la rade extérieure au-dessus du Stroombank, en tenant la tour de l'église d'Ostende au S. 64° E. Les grands navires franchissent ordinairement le Stroom à son extrémité ouest et profitent du flot pour entrer dans le port. Ceux qui viennent de l'est, peuvent se tenir entre le banc de Wenduyn et la côte, et prendre la passe située entre l'extrémité orientale du Stroombank et la plage, en face du Spaniardduin. Mais cette passe est fort dangereuse; outre qu'elle se trouve trop près de terre, elle est étroite et peu profonde. Elle avait, en 1866, 450 mètres de largeur, avec 5<sup>m</sup>,30 d'eau à marée basse; depuis cette époque, elle a encore diminué; les sondages de 1880 n'y accusent plus que 360 mètres de largeur avec 4<sup>m</sup>,60 d'eau <sup>(1)</sup>.

Au droit du port d'Ostende, les fonds de 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,50 de la rade intérieure

<sup>(1)</sup> Voir chapitre IV.



se trouvent à 500 mètres environ de la laisse des basses mers et se maintiennent jusqu'au Stroombank.

Mentionnons en passant la rade de Blankenberghe; elle est comprise entre le banc de Wenduyne et la terrasse sous-marine qui longe la côte, et offre des profondeurs de 5 à 7 mètres, sur des fonds de vase. Elle n'est guère abritée contre les vents du large, car le banc de Wenduyne n'est pas assez élevé pour constituer un abri.

Au nord des bancs de la côte des Flandres, que nous avons décrits, il y a encore le banc de Fairy, le Westhinder, le Noordhinder, l'Oosthinder, le Bligh-bank et le Thornton-Rug.

De ce groupe de bancs, le premier que l'on rencontre en arrivant de l'ouest, est le Fairy-bank. Situé à la limite est du chenal profond que doivent suivre les navigateurs entre le détroit et la mer du Nord, il s'étend au N.N.E. sur une longueur de 10 milles environ; sa plus grande largeur ne dépasse pas 1000 mètres. On y sonde de 7 à 10 mètres d'eau en basse mer dans la partie centrale; partout ailleurs la profondeur du banc varie de 11 à 18 mètres, sauf en un point situé à l'extrémité nord, où elle atteint à peine 10 mètres.

Le Westhinder est un plateau de forme allongée, de 15 milles de longueur, situé à l'est du Fairy-bank et séparé de ce dernier par un chenal de 2  $\frac{1}{2}$  milles de largeur et de 30 à 35 mètres de profondeur. Il existe, dans presque toute son étendue, une partie culminante de 400 à 500 mètres de largeur, où l'on ne sonde que 5 à 8 mètres d'eau à marée basse. L'extrémité sud du banc se trouve à 0°5' longitude et 51°23' latitude nord; elle est signalée par le bateau-phare du Westhinder, qui porte un feu catoptrique à éclipses de 12 milles de portée.

A 1  $\frac{1}{2}$  mille au nord de la pointe supérieure du Westhinder commence le banc du Noordhinder; la passe qui sépare ces deux bancs a 20 à 27 mètres de profondeur. Le Noordhinder est situé, comme le banc Fairy, à la limite est du chenal profond, conduisant du Pas-de-Calais vers l'entrée de la mer du Nord; il a 7 milles de longueur du N.  $\frac{1}{4}$  N.E. au S.  $\frac{1}{4}$  S.O., 1000 à 1200 mètres de largeur et présente de 11 à 16 mètres d'eau à marée basse, sauf à l'extrémité sud, où il ne reste que 7 à 9 mètres. Un bateau-phare est mouillé près du bord oriental du banc par 0°14'21" longitude est et 51°36'45" latitude nord; il porte un feu catoptrique blanc et fixe, de 11 milles de portée.

L'Oosthinder s'étend à l'est et parallèlement à la direction des deux bancs précités, sur une longueur de 10 milles environ; son extrémité sud se trouve à 2 milles de la partie centrale du Westhinder. Ce plateau a de 1200 à 1400 mètres de largeur et de 7 à 11 mètres de profondeur à la crête.



Dans l'est et à 3 milles de distance environ de l'Oosthinder, on trouve le Blighbank, dont la direction est sensiblement parallèle à celle de ce plateau. Il a une longueur de près de 10 milles et une largeur variant de  $\frac{1}{2}$  mille à 1 mille. On y sonde 9 mètres d'eau en moyenne sur la partie centrale, et de 11 à 15 mètres sur les autres parties du banc.

Le Thornton-Rug s'étend de l'E.N.E. à l'O.S.O., entre les méridiens de Middelkerke et de Wenduine, à une distance de 15 milles de la côte. La partie culminante du banc, située du côté est et offrant près de 2  $\frac{1}{2}$  milles de longueur et  $\frac{1}{2}$  mille de largeur, n'a que 5 à 8 mètres de profondeur sous la basse mer et comprend un petit plateau avec moins de 4<sup>m</sup>,00 d'eau. Partout ailleurs on trouve de 11 à 16 mètres.

Le chenal qui sépare l'extrémité ouest du Thornton-Rug de l'extrémité sud du Blighbank, est le canal le moins dangereux à suivre pour les grands navires qui veulent passer au milieu des bancs, avec des vents du S.O., lorsqu'ils arrivent de Dunkerque pour aller dans le nord.

A l'est de la partie nord du Thornton-Rug, à 1 mille de distance environ, se trouve un plateau de peu d'étendue, désigné sous le nom de *Rabs*, où l'on sonde de 7 à 9 mètres d'eau; enfin, quelques hauts-fonds s'étendent au sud du même banc jusqu'au Buiten-Ratel; ces bancs ont partout au moins 15 mètres de profondeur et ne sont pas dangereux pour la navigation.

### III. — ESTUAIRE DE L'ESCAUT ET CÔTE DE HEYST.

L'Escaut prend sa source en France sur le plateau de Saint-Quentin, entre dans la province du Hainaut en séparant les communes de Laplaigne et de Bléharies, traverse la Flandre orientale où il reçoit les eaux de la Lys, de la Dendre et de la Durme, forme ensuite la limite entre cette dernière province et celle d'Anvers et reçoit les eaux du Rupel.

Il se divisait précédemment à Bath en deux bras, connus sous les noms de *Hont* ou *Escaut occidental* et d'*Escaut oriental*. Ces deux bras étaient reliés par une branche secondaire, le *Sloe*, ayant son origine près de Flessingue et séparant l'île de Walcheren de l'île de Beveland.

L'Escaut oriental et le Sloe ont été barrés et séparés de l'Escaut occidental en 1867, lors de la construction du railway qui relie le port de Flessingue au réseau des chemins de fer de la Hollande.

Jusqu'à une faible distance en amont d'Anvers, l'Escaut doit surtout son importance à l'action régulière des marées. C'est la mer qui a creusé les passes



larges et profondes que l'on trouve dans cette partie du fleuve, et dont la section est hors de proportion avec le débit des eaux d'amont. (Pl. V).

La largeur de l'Escaut varie comme suit :

A Burght . . . . .	400 mètres à marée basse, et	500 mètres à marée haute;
à Anvers, en face de l'écluse du Cattendyk	500 id.	550 id.
à Lillo . . . . .	740 id.	840 id.
à Doel . . . . .	530 id.	1440 id.
à Bath . . . . .	2400 id.	3750 id.
à Terneuzen . . . . .	3480 id.	4860 id.
à Flessingue . . . . .	4280 id.	4870 id.

En aval de Doel, le lit du fleuve est encombré de bancs; il est formé de sable fin, très-blanc, reposant sur des fonds d'argile et mêlé en divers endroits de vase; celle-ci se rencontre surtout au fond des chenaux et des faux-chenaux situés entre les bancs, ainsi que sur les plateaux saillants des coudes. Près des rives du fleuve, où les courants ont peu d'action, le sable se recouvre insensiblement de couches successives de vases; ces atterrissements sont appelés *schorres*, lorsque leur niveau se rapproche de celui des hautes mers.

A partir de Burght, sur la rive gauche, et de Stabrouck, sur la rive droite, l'Escaut est bordé de vastes terrains de polders, dont le niveau est généralement inférieur à celui des hautes mers et qui, avant leur endiguement, étaient submergés à chaque marée. Aussi ce fleuve a-t-il fort peu de pente dans la ligne qui joint ses plus bas étiages; depuis le Rupel jusqu'à la mer, sur une longueur de près de 90 kilomètres, la différence de niveau n'est que de 0<sup>m</sup>,40 environ.

M. le Lieutenant de vaisseau Petit évalue à 1 057 000 000 de mètres cubes le volume d'eau qui passe devant Flessingue, pendant les 6 heures environ que dure le flot, la vitesse moyenne admise pour ce courant dans toute la section du fleuve, mesurée suivant un profil reliant le clocher de Flessingue à celui de Breskens, étant de 0<sup>m</sup>,73 par seconde; et cette vitesse, d'après des observations récentes de M. Petit, n'a rien d'exagéré.

De Flessingue à Lillo, les eaux de l'Escaut recouvrent 20400 hectares à marée basse et 39100 hectares à marée haute; de Lillo à Anvers, elles recouvrent 880 hectares à marée basse et 1230 hectares à marée haute.

L'eau de mer ne pénètre guère dans l'Escaut au delà d'Anvers. Devant ce port, l'eau ne devient saumâtre qu'à marée haute et présente alors, en été, une densité de 1002. Près du Rupel, elle reste constamment douce à basse mer, et même généralement à marée haute, bien que l'amplitude de la mer y soit encore de 4<sup>m</sup>,00 en moyenne. La densité de l'eau, à Bath, est de 1014 à marée haute



et de 1007 à marée basse; dans la passe de Terneuzen, elle est de 1018, et devant Flessingue, de 1020. En pleine mer, elle est de 1025.

Le débit du fleuve, à Gand, est estimé à 320 000 mètres cubes environ en 6 heures, quand les eaux sont basses, et à 1 400 000 mètres cubes aux hautes eaux ordinaires. Il est beaucoup plus considérable pendant les fortes crues; lors de la crue extraordinaire de 1872, il a atteint à Gand jusqu'à 250 mètres cubes par seconde.

Il est à remarquer que les eaux d'amont ne descendent que lentement vers la mer; en arrivant dans la partie maritime du fleuve, elles sont prises et reprises par les courants de flot et de jusant qui s'y succèdent régulièrement, et elles n'avancent vers l'embouchure qu'en raison de l'espace plus long que le jusant fait parcourir aux molécules liquides, par rapport à celui correspondant au flot.

M. Petit, se basant sur le résultat des observations auxquelles il avait procédé pour connaître la vitesse des courants de marée de l'Escaut, a indiqué la marche qu'aurait suivie un flotteur lancé à Termonde, à la marée descendante du 31 Juillet 1880. D'après ces indications, le flotteur aurait mis 7 jours, 10 heures et 10 minutes à parcourir, de Termonde à Lillo, une distance de 60 234 mètres; il aurait été soumis à l'action du jusant pendant 97 heures et 30 minutes, et à celle du flot pendant 83 heures et 30 minutes; la vitesse moyenne observée était de 43 mètres par minute pour le premier de ces courants et de 40 mètres pour le second, ce qui donne pour les trajets respectifs 251 550 mètres et 200 400 mètres et pour leur différence 51 150 mètres, soit assez approximativement la distance existant entre les deux endroits précités, si l'on tient compte des écarts qui doivent nécessairement se produire dans la vitesse et la durée des courants de flot et de jusant se succédant alternativement pendant plusieurs jours, par rapport aux données moyennes obtenues pour ces éléments par l'observation <sup>(1)</sup>.

En pénétrant à l'intérieur de l'Escaut, les eaux de la mer y apportent les vases en suspension et les sables vasards qu'elles traînent sur le fond, et les déposent en partie, au moment de l'étalement de flot, dans le lit du fleuve et dans les dépressions latérales communiquant librement avec celui-ci. Les courants de jusant agissent en sens inverse; ils tendent à entraîner les matières soulevées du fond, de même que celles amenées par les eaux d'amont, pour les transporter à la mer, et ils exercent par conséquent une grande influence sur le maintien de la profondeur des passes; leur importance augmente avec le volume maximum que l'onde fluviale atteint à chaque marée, lequel dépend lui-même de la quantité des eaux marines qui entrent dans le fleuve pendant le flot et du débit

(1) L. Petit. *Étude sur les courants de l'Escaut*. Ouvrage cité.



des eaux supérieures. Aussi admet-on généralement comme règle pratique, dans les travaux d'amélioration de la partie maritime des fleuves, de conserver rigoureusement ce volume.

Il est fort difficile, en général, de préciser l'influence respective exercée par le flux et le reflux sur la situation du lit d'un fleuve à marées; les mouvements d'alluvion que ces courants y opèrent dépendent de nombreux éléments, ayant entre eux des relations complexes et variables, et qu'il n'est guère possible de déterminer avec quelque exactitude. Ainsi, pour l'Escaut, les courants de jusant produisent des effets d'entraînement plus accentués que les courants de flot, mais d'autre part, l'agitation de la masse liquide est plus grande à l'embouchure qu'à l'intérieur; et, comme les fonds de l'estuaire sont formés en majeure partie de vase et de sable vasard, les eaux qui pénètrent dans le fleuve avec le flot, sont nécessairement plus chargées que celles qui en sortent avec le jusant. Remarquons aussi que, dans une même section du fleuve, il peut y avoir approfondissement dans les passes du milieu et envasement près des rives; sous ce rapport, l'existence des vastes dépressions que l'on rencontre des deux côtés de l'Escaut, entre Flessingue et Lillo, contribue sans doute à entretenir les passes profondes de cette partie du fleuve; car le volume d'eau dont ces immenses réservoirs se remplissent à marée haute, augmentent, en s'écoulant à marée descendante, l'intensité des courants de jusant dans les chenaux principaux et par conséquent leur action de curage sur le fond.

Les passes profondes se tiennent surtout le long des rives concaves à courbure prononcée, tandis que les atterrissements, les bancs et les faux-chenaux se trouvent près des rives convexes ou dans les parties renflées du fleuve. Comme l'intensité relative du flux et du reflux varie constamment avec l'âge de la lune, avec les vents qui règnent dans la mer du Nord et avec le débit des eaux supérieures, ces passes et ces hauts-fonds subissent des modifications continuelles; celles-ci sont surtout sensibles par les fortes marées, accompagnées de vents violents, et par les crues extraordinaires; mais il n'en est résulté jusqu'à présent aucune entrave pour la marche des navires, et les plus gros bâtiments arrivent sans difficulté à Anvers. La traverse la moins profonde se trouve près de la frontière néerlandaise; elle offre 5<sup>m</sup>,80 d'eau à basse mer.

**Passes de l'embouchure.** — L'Escaut occidental communique avec la mer du Nord au moyen de quatre passes navigables: Le Wielingen, le Spleet, le Deurloo et l'Oostgat. (Pl. IV et XV).

La passe du Wielingen est la meilleure et la plus fréquentée; elle commence par le travers de Blankenberghe et s'étend suivant une direction E.  $\frac{1}{4}$  N.E. vers



Flessingue. On y sonde 8<sup>m</sup>,00 d'eau, au moins, à marée basse, sur des fonds mous de sable et de vase; la profondeur augmente dans la partie de la passe située devant la côte de Cadzand et désignée plus spécialement sous le nom de *Passe française*.

Le Wielingen est limité au sud par le plateau Het Zand et par le banc du Binnen-Paardemarkt.

Le premier de ces plateaux longe la côte de Blankenberghe, depuis l'extrémité est du banc de Wenduyne jusqu'au banc du Binnen-Paardemarkt; il offre de 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,20 de profondeur, et est séparé du rivage par des fonds avec 6<sup>m</sup>,50 à 7<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse. Quant au Binnen-Paardemarkt, c'est un banc long et étroit, situé à 1 kilomètre de distance moyenne de la côte, depuis les écluses de Heyst jusqu'au Sluissche Gat, suivant une direction sensiblement parallèle à celle de la plage; il présente, dans sa partie est, un plateau d'environ 6 kilomètres de longueur, n'ayant que 0<sup>m</sup>,60 à 2<sup>m</sup>,00 de profondeur à mer basse. Du côté ouest, le banc est plus profond; on y sonde jusqu'à 5<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse.

Au nord, le Wielingen est limité par le banc du Wandelaar, par le Ribzand, qui comprend les bancs de Heyst et de Knocke, et par le banc du Hompel.

Le banc du Wandelaar est formé de plusieurs petits plateaux, situés à l'entrée de la passe, et offrant environ 8<sup>m</sup>,00 de profondeur; une bouée conique, peinte en bandes horizontales noires et rouges, avec mât et ballon, est mouillée près de son extrémité S.O. par 8<sup>m</sup>,75 d'eau.

En septembre 1882, un bateau-phare a été établi à 700 mètres dans le S.O.  $\frac{1}{4}$  O. de cette bouée; il est peint en rouge avec des bandes et porte de chaque bord, en grandes lettres, le mot *Wandelaar*; le ton du mât est garni de deux sphères rouges à claire-voie, superposées. Pendant la nuit, le bateau du Wandelaar montre un feu blanc de 11 milles de portée; il est en outre pourvu d'une sirène, qui, par des temps brumeux, émet un signal formé de deux sons successifs, répétés de deux en deux minutes.

La partie ouest du Ribzand est plate et se trouve à 7<sup>m</sup>,50, en moyenne, sous le niveau de marée basse. Le banc de Heyst est plus raide, et n'offre en quelques points que 3<sup>m</sup>,00 d'eau. Celui de Knocke, de profondeur très-inégale, a 4<sup>m</sup>,00 à l'endroit le plus élevé; il se prolonge par un plateau plus régulier et plus profond jusqu'au Hompel.

Ce dernier banc, dirigé à l'est, s'incline à son extrémité orientale vers le rivage et fait saillie dans la passe du Wielingen. Il est très-accore du côté sud et présente en son milieu un plateau qui découvre à marée basse.



Lors de l'établissement du nouveau feu flottant du Wandelaar, le bateau-phare, qui se trouvait au sud du Ribzand, à 4  $\frac{1}{2}$  milles N. 26° E. de Blankenberghe, et dans l'alignement de Bruges par Lisseweghe, a été placé dans la passe du Wielingen même. Il est mouillé par 10<sup>m</sup>,50 d'eau à marée basse, sur un fond vaseux noir, et dans le relèvement croisé de l'alignement des feux de Nieuwe-Sluis et de Bruges par Heyst. Ce bateau porte le nom de *Wielingen* inscrit sur ses flancs et deux écrans à claire-voie en tête des mâts; il montre un feu catoptrique rouge et à éclipses. Le Wielingen est en outre balisé dans toute son étendue au moyen de huit bouées noires, placées de distance en distance au sud du Ribzand et du Hompel, et de trois bouées blanches, dont deux sont établies au nord du Binnen-Paardemarkt et la troisième près de la pointe ouest du banc de Breskens.

Pour entrer dans le canal du Wielingen, les navires venant de la Manche ou de la Tamise doivent se tenir au nord des bancs du Ruytingen et du Dyck oriental, et au sud du Fairy-bank et du Westhinder; cette route est signalée par les feux flottants du Buiten-Ruytingen et du Westhinder et par la bouée rouge, à tête noire, établie à l'extrémité nord du Dyck. Puis ils gouvernent à l'est, pour passer au sud du feu du Wandelaar et attaquer ensuite le canal. A cet effet, ils prennent l'alignement N. 84° E. des deux phares de Nieuwe-Sluis et traversent ainsi la Passe française, en laissant les bouées noires du Ribzand et du Hompel à bâbord; arrivés à la dernière bouée, ils passent l'extrémité du Hompel, en tenant le clocher de Ritthem bien visible au sud de celui de Flessingue, puis se dirigent au sud de la bouée blanche, établie sur la pointe intérieure du Elleboog, et entrent dans la rade de Flessingue, quand le phare de Westkapelle disparaît derrière la dune de Dishoek. Pendant la nuit, les navires, après avoir doublé le bateau du Wandelaar au sud, prennent l'alignement du feu du Wielingen et des feux de Nieuwe-Sluis, et ils suivent cette route jusqu'à ce que le feu rouge du Verklikker, entre Nieuwe-Sluis et le Zwarte Polder, devienne blanc; ils se trouvent alors dans l'est du Hompel et se dirigent à l'E. 30° N. sur le feu de Flessingue.

La passe du Spleet est limitée au sud par le Ribzand et le banc du Hompel que nous venons de citer; au nord, par le grand plateau du Raan et par les bancs du Elleboog et du Walvischstaart.

Sur le plateau du Raan, on sonde de 2<sup>m</sup>,50 à 8<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse; il comprend le Raan proprement dit et le banc de Schooneveld, situés respectivement dans la partie S.E. et dans la partie S.O. du plateau, où la profondeur est partout inférieure à 5 mètres. Le Walvischstaart et le Elleboog peuvent être



considérés, le premier surtout, comme le prolongement du Raan. Ce sont deux bancs très-élevés, qui découvrent même en quelques endroits à marée basse; ils sont séparés par un faux-chenal qui s'exhausse vers l'est, et se soudent à l'extrémité de celui-ci par des fonds de 3 à 4 mètres de profondeur seulement.

On trouve dans le Spleet des profondeurs de 7 à 8 mètres, depuis son entrée par le travers de l'extrémité ouest du Ribzand, jusque dans le nord du banc de Knocke, où il n'y a que 6 à 7 mètres au maximum; au delà de cet endroit, on sonde des profondeurs d'eau beaucoup plus grandes, sur des fonds de vase molle. Ce canal est sinueux et non balisé; il n'est guère fréquenté que par des navires d'un tirant d'eau inférieur à 5<sup>m</sup>,00, qui passent à l'ouest du banc de Schooneveld et traversent le Ribzand entre les bancs de Knocke et de Heyst, pour entrer dans le Wielingen.

La passe du Deurloo est séparée de l'Oostgat par les bancs du Rassen, de Zoutelande et de Caloo, qui forment ensemble un vaste plateau.

Le banc du Rassen a partout moins de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur; il présente une partie assez étendue, où il reste à peine 2<sup>m</sup>,50 d'eau, et dont plusieurs points émergent à basse mer. Il en est de même du banc de Zoutelande, qui longe l'Oostgat et s'étend dans une direction à peu près parallèle à la côte S.O. de l'île de Walcheren, jusqu'en face de Koudekerke. Sur le banc de Caloo, que l'on peut considérer comme formant la partie N.E. du Rassen, on sonde généralement de 4<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,50 d'eau; en quelques endroits il ne reste que 3<sup>m</sup>,30 à 4<sup>m</sup>,00.

Entre le Caloo et le Rassen, il existe un passage nommé *Bothkil*, qui est accessible aux navires d'un faible tirant d'eau. Ceux-ci s'en servent lorsque, par des vents du nord surtout, le jusant est trop avancé pour leur permettre de sortir par l'Oostgat.

A l'extérieur du Deurloo et dans toute l'étendue du Westpit, la sonde accuse des fonds mous; entre le Westpit et l'entrée du canal, il existe des dépôts de sable qui se maintiennent à l'intérieur et au milieu de ce dernier, tandis qu'on rencontre de l'argile molle le long des bords du Raan et du Rassen.

Le Deurloo est balisé au nord par une bouée rouge, mouillée par 9<sup>m</sup>,00 d'eau, à 2 milles de distance environ en dehors de l'extrémité N.O. du Rassen, et par cinq bouées noires, placées de distance en distance, à la limite inférieure du même banc et de celui de Zoutelande; au sud, par sept bouées blanches, mouillées du côté N.E. du Raan et du Elleboog. Il est très-difficile à attaquer pour les navires; les bancs qui le bordent des deux côtés s'étendent à une trop forte distance de la côte pour qu'il soit possible de bien reconnaître les amers; de plus, les grands bâtiments ne peuvent passer au-dessus des hauts-



fonds de l'entrée avant la mi-marée, et, comme les courants portent au sud jusqu'au moment qui précède de deux heures la haute mer, ils sont exposés à être entraînés sur le Raan.

Le canal de l'Oostgat est compris entre le banc de Caloq et les Rassen d'un côté, et entre le Kueerens et les Domburger Rassen de l'autre, puis entre le banc de Zoutelande et la côte de Walcheren; il est balisé au moyen de deux bouées rouges, d'une bouée noire et de quatre bouées blanches, et se réunit au Deurloo en face de Kaapduinen. C'est un chenal facile à suivre pour les navires à voiles, surtout avec des vents du nord. Les amers sont généralement très-visibles; la route est droite jusqu'à la pointe de Westkapelle; là elle change du S. 18° E. au S. 50° E. Le Nolleplaatje s'avance dans cette passe, à l'ouest de Flessingue, et rejette le chenal navigable vers la rive opposée; ce banc, dont la profondeur varie de 2 à 5 mètres, contribue à protéger la rade de Flessingue contre les vents du N.O.

Les navires qui viennent du nord pour entrer dans l'Escaut, prennent généralement la passe de l'Oostgat; ils traversent le Steendiep en tenant le clocher de Middelburg par celui de Domburg au S. 49° E., jusqu'à ce que le clocher de Westkapelle soit par le Kaaphuisje, au S. 23° 30' E., et arrivent ainsi dans l'ouest de la bouée rouge, placée sur le côté S.O. du plateau du Kueerens; puis ils gouvernent de manière à passer à 200 mètres environ de la pointe de Westkapelle, et jusqu'à ce que le phare de ce village reste par le moulin, pour se guider après et successivement sur l'alignement des phares de Kaapduinen et celui des phares de Westkapelle et de Zoutelande, et passer enfin entre la bouée noire du Nolleplaatje et la bouée blanche du Elleboog.

Pendant la nuit, les navigateurs se dirigent sur le phare de Westkapelle au S. 25° E. et, quand ils relèvent ce feu à l'est, ils amènent ceux de Kaapduinen l'un par l'autre au S. 51° E., et continuent cette route jusqu'à ce qu'ils voient le feu de Zoutelande par celui de Westkapelle, pour suivre alors ce dernier alignement; quand ils ont dépassé Kaapduinen, ils se rangent dans l'alignement des feux intérieurs de ce nom, jusqu'à ce qu'ils aperçoivent la lumière blanche du feu de Flessingue; ils ont alors doublé le Nolleplaatje et peuvent gouverner sur la rade.

A l'intérieur de l'Escaut, on remarque devant Flessingue, le Spykerplaat; à l'est de ce port, le banc du Kaloot; devant Breskens, le banc de Breskens et plus loin le Springer.

Le Spykerplaat limite au sud la rade de Flessingue; on y trouve de 7 à 8 mètres d'eau à marée basse. Le banc du Kaloot est très-élevé sur une grande



partie de son étendue; il dépasse en son milieu le niveau des hautes mers et se termine du côté du fleuve par un talus fort raide.

Le banc de Breskens et le Springer sont situés au sud de la grande passe de l'Escaut occidental. Ces bancs présentent de larges plateaux, qui découvrent à marée basse et qui sont séparés par des chenaux peu profonds.

Entre le banc du Binnen-Paardemarkt, que nous avons mentionné plus haut, et la côte, se trouve la fosse de Heyst, désignée sur les cartes marines sous le nom de *Appelzak*. Elle s'étend devant les villages de Heyst et de Knocke, jusqu'à la côte de Cadzand et offre 8 à 10 mètres de profondeur, sur 450 mètres de largeur moyenne.

Au sud du plateau Het Zand, situé vers l'ouest et en prolongement du Binnen-Paardemarkt, on sonde des profondeurs qui varient entre 6<sup>m</sup>,00 et 7<sup>m</sup>,50; la courbe des fonds de 7<sup>m</sup>,00 ne se trouve, en certains endroits, qu'à 800 mètres de la côte. A partir de cette courbe, l'estran sous-marin se relève suivant une pente sensiblement régulière vers le niveau de marée basse.

---



## CHAPITRE IV.

### RÉGIME DES FONDS SOUS-MARINS, SITUÉS DEVANT LA CÔTE DES FLANDRES.

Nous venons de voir que les conditions d'accessibilité des ports de la côte des Flandres dépendent essentiellement de la situation des bancs et des passes, dont la mer est parsemée dans le voisinage du littoral. Avant d'aborder l'étude de projets, soit pour l'amélioration des ports existants, soit pour la création de ports nouveaux sur cette côte, il importe donc de rechercher avec soin, par la comparaison des reconnaissances hydrographiques effectuées aux différentes époques, quels sont les changements survenus dans les fonds sous-marins qui s'étendent devant elle, et d'étudier les causes de ces changements, pour en déduire certaines indications sur ceux que l'on peut craindre ou espérer par la suite. L'importance du sujet justifiera, nous osons l'espérer, les développements dans lesquels nous allons entrer.

Il n'existe qu'une seule carte marine exacte et précise, comprenant la partie du littoral de Belgique située entre la frontière française et le port d'Ostende, antérieure à celle qui a été levée en 1866 par M. le Lieutenant de vaisseau Stessels et dont un extrait figure pl. VIII; c'est la carte de la côte nord de France, depuis Gravelines jusqu'à Ostende, dressée en 1801 et 1802 par le célèbre ingénieur hydrographe M. Beautemps-Beaupré. Elle est reproduite partiellement pl. VII; pour que la comparaison avec la carte de M. Stessels en soit facile, nous l'avons réduite à la même échelle de 1 millimètre pour cent mètres et nous avons transformé en mètres, les chiffres de sondes qui y sont exprimés en pieds de France. Toutefois, il faut encore tenir compte de cette circonstance que, sur la carte de M. Beautemps-Beaupré, les cotes de sondages sont rapportées au *niveau des plus basses mers observées* et que le repère adopté par M. Stessels correspond à la hauteur moyenne des *basses mers de vive eau ordinaires*. La différence entre ces deux niveaux, devant la côte de Belgique, est d'environ 0<sup>m</sup>,70.

Un autre plan de la côte nord de France, depuis Nieuport jusqu'à Ambleteuse, a été levé en 1776 par La Couldre La Bretonnière, lieutenant de vaisseau, et



Méchain, astronome hydrographe de la Marine française; mais on ne connaissait pas encore, à cette époque, les méthodes exactes qui ont été employées depuis pour faire les reconnaissances hydrographiques, de sorte que cette carte ne renseigne pas d'une manière précise la configuration des fonds, ni leur position réelle; elle semble avoir été dressée plus spécialement pour indiquer la hauteur des bancs et la profondeur des passes, et, sous ce rapport, elle peut être consultée avec utilité (Pl. VI) <sup>(1)</sup>

En mars 1804, M. Beautemps-Beaupré a levé le plan de la petite rade d'Ostende; ce même plan a été levé en 1867 par M. Stessels (Pl. IX). <sup>(2)</sup>

Deux nouvelles reconnaissances hydrographiques ont été faites, dans les parages de Dunkerque, depuis 1802; la première en 1836, par les ingénieurs hydrographes français sous la direction de M. Beautemps-Beaupré; la seconde en 1861 par M. De la Roche-Poncié; mais elles ne s'étendent pas au delà de la frontière de Belgique.

Enfin, une nouvelle carte a été dressée en 1879 et 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit pour la zone maritime qui longe notre littoral, depuis le village d'Oostduinkerke jusqu'à celui de Knocke, sur une longueur d'environ 10 kilomètres. <sup>(3)</sup>

Les cartes marines de l'estuaire de l'Escaut, qui comprennent la côte de Blankenberghe et de Heyst, sont plus nombreuses. La plus ancienne, à notre connaissance, est encore due à M. Beautemps-Beaupré et a été levée et dressée de 1799 à 1811. (Pl. X). Les autres ont été dressées par la Marine néerlandaise, et datent respectivement de 1825, 1842, 1855, 1865 et 1878. (Pl. XI, XII, XIII, XIV et XV) <sup>(4)</sup>.

<sup>(1)</sup> Cette carte est mentionnée dans le mémoire de M. Plocq, de 1863. M. Guillaïn, actuellement Ingénieur en chef à Boulogne et précédemment Ingénieur du port de Dunkerque, a eu la gracieuseté de nous en procurer une copie. Nous en avons reproduit un extrait sur une échelle moitié moindre.

<sup>(2)</sup> Nous avons réduit ces deux plans à la même échelle de 5 millimètres pour 300 mètres; pour celui de M. Beautemps-Beaupré, nous avons transformé en mètres les chiffres de sondes, qui y sont exprimés en pieds de France. Mais les cotes de sondage renseignées sur ce dernier plan sont rapportées au niveau des plus basses mers, tandis que celles du plan de M. Stessels sont rapportées au niveau des basses mers de vive eau ordinaires.

<sup>(3)</sup> Les résultats de cette reconnaissance hydrographique sont indiqués sur la carte de la côte des Flandres, représentée pl. IV.

<sup>(4)</sup> Les extraits des cartes de la Marine néerlandaise ont été réduits à l'échelle de 1 millimètre pour 130 mètres. L'extrait de la carte de M. Beautemps-Beaupré a été réduit à la même échelle; les cotes de sondage qui, sur l'original, sont exprimées en pieds de France et indiquent la profondeur de l'eau sous le niveau des plus basses mers observées, y sont transformées en décimètres. Ces mêmes cotes sont rapportées au niveau des basses mers de morte eau ordinaires sur les cartes de 1825, 1842 et 1855, et à celui des basses mers ordinaires sur les cartes de 1865 et 1878. On peut admettre que la différence entre ces deux derniers repères et le repère de la carte de M. Beautemps-Beaupré est respectivement de 1<sup>m</sup>,25 et de 1<sup>m</sup>,00 environ.



I. — RÉGION COMPRISE ENTRE CALAIS ET LA FRONTIÈRE DE BELGIQUE.

M. de la Roche-Poncié, dans son rapport sur la reconnaissance hydrographique de la côte nord de France, faite en 1861 entre Calais et la frontière de Belgique, a étudié les modifications que les hauts-fonds sous-marins, ainsi que les estrans de ces parages maritimes ont successivement subies de 1801 à 1836 et de 1836 à 1861 <sup>(1)</sup>.

Il constate tout d'abord que les cartes de ces différentes époques, considérées dans leur ensemble, offrent une très-grande ressemblance entre elles; les mêmes bancs et les mêmes chenaux y occupent les mêmes positions relatives et paraissent avoir subi tout au plus quelques légères variations de hauteur ou de profondeur. Mais un examen attentif lui montre que ces fonds éprouvent cependant des changements très-appreciables.

Les sables qui composent les bancs, sont sujets à des déplacements, modifiant jusqu'à un certain point la position ou l'étendue des plateaux, ainsi que l'allure de leurs lignes de niveau. Ces modifications sont très-accentuées et, en même temps, fort irrégulières à la partie culminante des bancs, principalement aux endroits qui découvrent à marée basse.

Les lignes des fonds de 8 à 10 mètres sous marée basse, limitant les bancs dans le sens de leur longueur, semblent, en général, être moins variables de position; celles qu'on trouve aux extrémités, subissent au contraire des déplacements continuels, soit dans un sens, soit dans un autre, mais qui, le plus souvent, ont simplement pour effet d'allonger ou de raccourcir le plateau sans l'écarter de son gisement.

Les chenaux profonds, tels que la passe qui sépare le Breedtbank du Braeck, celle qui s'étend au sud du haut-fond de Gravelines et du Snouw, le chenal situé au sud du Dyck occidental ou Orteil, ainsi que les grands fonds de la rade de Calais, tendent généralement à s'exhausser, mais d'une manière extrêmement lente. Les petits fonds, au contraire, n'ont pas changé; ainsi la rade de Dunkerque et ses passes d'accès ont conservé sensiblement les mêmes limites et les mêmes profondeurs.

En ce qui concerne l'estran sous-marin qui s'étend au sud de cette rade jusqu'au rivage, voici comment s'exprime le rapport de M. de la Roche-Poncié :

« La laisse de basse mer de grande marée n'a pas varié dans l'est de  
« Dunkerque; mais, à l'ouest, le prolongement des jetées, de 300 mètres, exécuté  
« depuis 1836, a provoqué presque immédiatement un avancement égal de la

<sup>(1)</sup> *Recherches hydrographiques sur le régime des côtes. Deuxième cahier.*



« plage vers le large, avancement qui se fait sentir jusqu'à plusieurs milles à l'ouest, où la nouvelle plage se raccorde avec l'ancienne.

« A terre, les travaux exécutés depuis le commencement du siècle, pour endiguer le chenal, créer des écluses de chasse et relier le fort Risban à la terre, ont modifié la côte dans l'ouest.

« Ces ouvrages avancés en mer ont provoqué des atterrissements, des relais de mer protégés ensuite par des digues et acquis à l'agriculture; mais partout ailleurs, où il n'a pas été fait de travaux à terre, la côte ne semble pas avoir varié; les dunes se sont peut-être élevées.

« L'avancement de la plage n'a pas changé les limites de la rade; la ligne des fonds de 10 mètres se trouve exactement à la même distance de terre qu'auparavant; l'inclinaison du fond, entre les lignes de 0 mètre et 10 mètres, a seulement un peu augmenté.

« Il faudrait bien se garder de conclure de l'observation précédente, à la possibilité de conduire et d'entretenir le chenal de Dunkerque jusque par les fonds de 10 mètres en dessous des basses mers.

« A Gravelines, l'enlèvement d'une petite portion de jetée basse a produit immédiatement un retrait vers la côte de la laisse de basse mer. A l'ouest de Gravelines, la laisse de basse mer et les petits fonds qui l'avoisinent n'ont pas changé d'une manière sensible jusqu'à Calais, où la prolongation des jetées, de 250 mètres, l'a reportée de la même quantité vers le large. Les travaux d'art seulement ont donc produit quelques changements sur les plages. »

M. de la Roche-Poncié résume en ces termes les changements constatés de 1801 à 1836, et de cette dernière époque à 1861, dans les fonds de la côte nord de France, depuis Calais jusqu'à la frontière de Belgique :

« Les fonds de la côte nord de France, de Calais à la frontière de Belgique, ne semble pas, à première vue, avoir varié depuis 1801 à 1836; les bancs et les chenaux occupent, à fort peu près, les mêmes positions; mais un examen plus approfondi montre que les bancs n'ont pas une fixité absolue en position et en hauteur, et que les grands fonds de plus de 20 mètres en dessous des basses mers tendent à s'exhausser lentement, tandis que les petits fonds, comme ceux de la rade de Dunkerque, n'ont pas changé. La côte n'a varié qu'à la suite des travaux d'art qu'on y a exécutés. »

Une nouvelle carte de l'atterrage de Dunkerque, levée en 1879 par M. l'Ingénieur hydrographe Ploix, a été publiée récemment. Elle n'accuse aucun changement important dans la configuration des fonds de ces parages. La rade de Dunkerque et ses passes d'accès ont conservé la même profondeur et le



même gisement; les divers bancs qui précèdent la rade du côté du large n'ont subi que des modifications très-secondaires, résultant pour la plupart de déplacements de sable, qui se sont opérés à la partie la plus élevée de ces plateaux, et qui sont assez accentués pour le Hills, le Braeck, le Smal et le Breedt.

## II. — RADE DE NIEUPOORT, BANCS ET FONDS ENVIRONNANTS.

Pour suivre les modifications qui se sont produites successivement dans les fonds situés devant la côte de Nieuport et devant celle d'Ostende, nous avons à comparer les reconnaissances hydrographiques faites respectivement en 1801 par M. Beauteemps-Beaupré, en 1866 par M. Stessels et en 1880 et 1883 par M. Petit; il y a en outre, pour les bancs et les passes attenants à l'atterrage de Dunkerque, les reconnaissances de 1836 et de 1879 que nous venons de citer.

Commençons par la rade de Nieuport et ses passes d'accès.

Les limites et les profondeurs de cette rade ont peu varié depuis le commencement du siècle. Les courbes de 10 mètres qui la terminent au nord et au sud, depuis son extrémité occidentale jusqu'au Broersbank, se sont déplacées de 300 mètres en moyenne vers le large, pendant la période comprise entre les années 1801 et 1866; depuis cette dernière époque, la limite sud s'est rapprochée de nouveau de la côte, au droit de la passe de Zuydcote et du banc du Traepegeer.

La carte de 1776, pl. VI, renseigne 8 à 10 brasses (13 à 16 mètres) pour la profondeur générale de la rade, soit environ celle que l'on y trouve aujourd'hui; et il est probable que cette profondeur date de plus loin encore, car ce document porte une note, où il est dit que *la partie des bancs situés à l'orient du méridien de Zuydcote n'a point été levée, mais qu'on l'a tirée des cartes ordinaires les plus détaillées.*

Dans la passe de Zuydcote, la petite saillie des fonds de 4<sup>m</sup>,00, formée par le talus du Hillsbank près de la rade de Dunkerque et indiquée sur la carte de 1801, disparaît à partir de 1836. A cette première époque, on sondait en cet endroit de la passe 6<sup>m</sup>,20 d'eau sous le niveau des plus basses marées; les reconnaissances hydrographiques françaises de 1836 et de 1861 ne renseignent que 5<sup>m</sup>,20 au même point; mais la carte de M. l'Ingénieur Ploix, de 1879, indique de nouveau 6<sup>m</sup>,20, ce qui correspond à une profondeur de 7<sup>m</sup>,00 à peu près sous le niveau des basses mers de vive eaux ordinaires, adopté comme repère sur la carte de M. Stessels. <sup>(1)</sup>

(1) Voir page 104.



La passe du Nord n'a subi de changements notables qu'à son entrée dans la rade; le haut-fond qui y relie l'extrémité S.E. du Smalbank à la pointe S.O. du banc de Nieuport, à travers le canal, s'est exhaussé de 1801 à 1866; on y trouvait en 1801 de 6<sup>m</sup>,50 à 7<sup>m</sup>,80 d'eau sous le niveau des plus basses marées, soit 7<sup>m</sup>,20 à 8<sup>m</sup>,50 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires, tandis que la carte de 1866 n'indique que 5<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,60 au point le plus élevé. Mais, ainsi que nous l'avons déjà dit au chapitre précédent, ce canal s'est approfondi de-rechef depuis 1866. Les sondages exécutés par M. le Lieutenant de vaisseau Petit en 1880 et en 1883, y accusent une profondeur minimum de 8<sup>m</sup>,00; de plus, le plateau avec 4<sup>m</sup>,00 d'eau environ qu'on rencontre près de l'extrémité N.E. du Smalbank, a disparu pour faire place à des fonds de 7 mètres, donnant accès au chenal compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank; et immédiatement à l'est de la passe du Nord, à l'emplacement occupé en 1866 par la pointe ouest du banc de Nieuport, on trouve également 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50 d'eau sous marée basse.

Quant à la passe du N.E., les lignes de niveau qui la comprennent se sont rapprochées l'une de l'autre de 1801 à 1866, et ont pris une allure plus régulière; les fonds de plus de 10 mètres faisant suite, d'un côté à ceux de la rade de Nieuport et de l'autre côté à ceux de la rade extérieure d'Ostende, se sont prolongés suivant l'axe de la passe, et le haut-fond qui les sépare pour relier le banc de Nieuport au Stroombank est devenu moins élevé; sa profondeur sous le niveau des plus basses marées n'était, en 1801, que de 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,20, soit 6<sup>m</sup>,20 à 6<sup>m</sup>,90 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires; elle atteint 9<sup>m</sup>,00 en 1866. De 1866 à 1880, les courbes des fonds de 8 et de 10 mètres, limitant au sud la passe du N.E., se sont rapprochées du Stroombank.

La passe de l'Est enfin, qui conduit de la rade de Nieuport vers la petite rade d'Ostende, a perdu en profondeur depuis 1801; la carte de M. Beauteemps-Beaupré y renseigne en effet, jusque devant Middelkerke, des profondeurs de 10 et de 12 mètres sous les plus basses marées, soit 10<sup>m</sup>,70 et 12<sup>m</sup>,70 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, tandis que la carte de M. Stessels n'indique que 9<sup>m</sup>,50 et 10<sup>m</sup>,50. De 1866 à 1880, la profondeur de cette passe n'a pas sensiblement varié, mais les fonds de 8 et de 10 mètres se sont étendus en plusieurs endroits vers la côte.

Arrivons aux bancs que l'on rencontre dans le voisinage de la rade de Nieuport.

Le Hills, situé à la limite orientale de la passe de Zuydcote, a un peu diminué de largeur dans le nord de Dunkerque; du côté est, il est resté compris



entre les mêmes limites de 10 mètres. La carte de l'atterrage de Dunkerque, levée en 1836, renseigne, en plusieurs endroits du banc, des parties qui découvrent aux basses mers des grandes marées, notamment un plateau assez étendu situé à l'ouest du méridien de Coudekerque. Sur la carte de 1879, on remarque que ce plateau s'est développé, mais sa hauteur au-dessus du niveau de marée basse a en même temps diminué.

Le col reliant le Hills au Smal et séparant le chenal compris entre le Breedt et le Snouw de la rade de Nieuport, tend à s'exhausser d'une manière continue. D'après la carte de 1776, la profondeur de la partie culminante de ce col était à cette époque de  $5\frac{1}{2}$  brasses ou de 9 mètres; elle n'est plus que de  $7^m,10$  en 1801 et se réduit à  $4^m,60$  en 1836; de 1836 à 1879, la profondeur ne change pas sensiblement, mais la largeur du col, entre les courbes de niveau de 5 mètres, diminue.

De 1801 à 1836, le Smalbank s'est soudé à la partie centrale du Breedt par des fonds de  $5^m,50$  à  $6^m,50$ , en un endroit où l'on sondait à cette première époque plus de 10 mètres à marée basse. Cette soudure s'est exhaussée encore depuis 1836; sur la carte de 1879, elle comprend un plateau non interrompu ayant partout moins de 5 mètres d'eau et  $3^m,20$  seulement sur la crête. Dans le nord de Dunkerque et de Leffrinckoucke, le banc s'est approfondi de 1801 à 1866, pendant qu'il s'est exhaussé en son milieu, jusque par le travers d'Adinkerke. Dans la même période, les fonds de la rade de Nieuport ont refoulé, de 300 mètres environ, la limite sud du plateau, tandis que la partie plus profonde qui termine le Smalbank à l'est, a peu varié. De 1866 à 1879, les fonds de 10 mètres limitant ce plateau au nord et au sud se sont maintenus à peu près dans la même position, sauf à l'extrémité N.E., laquelle s'est raccourcie; toutefois les sables culminants, avec moins de  $2^m,00$  d'eau, qui couronnent le banc, ont gagné en profondeur à droite du méridien de Leffrinckoucke; l'approfondissement est surtout sensible près de la pointe N.E. du banc.

La situation des fonds de 6 à 10 mètres formant les talus sud et nord du banc de Nieuport, est peu différente sur la carte de 1866 et sur celle de 1801; les sables avec moins de 4 mètres d'eau, qui constituent les sommets les plus élevés du banc, ont subi certains déplacements dans l'étendue même du plateau et paraissent s'être développés dans le nord de Nieuport. De 1866 à 1880, le banc, considéré dans son ensemble, a conservé le même gisement; mais il s'est creusé à l'ouest; la profondeur de sa partie culminante est devenue moins inégale et mesure partout  $4^m,50$  au moins sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires.



Le Stroombank n'a pas subi, de 1801 à 1866, des changements bien apparents dans la partie située du côté du Westdiep; toutefois les fonds de moins de 4<sup>m</sup>,00 s'y sont rapprochés du talus sud du banc, qui est resté très-raide. En 1880, les points culminants, situés dans les méridiens de Nieuport et de Westende, sont devenus moins élevés.

Vers l'extrémité est du plateau, il y a eu des modifications très-accentuées, sur lesquelles nous reviendrons en parlant de la rade d'Ostende.

Au sud du Westdiep, on a le Traepegeer, dont la pointe occidentale s'est exhaussée de 1801 à 1866; mais les fonds de 6 mètres, terminant de ce côté la passe de Zuydcote, ont peu varié. La crête du banc, entre les fonds de 4 à 5 mètres, a subi au contraire des modifications importantes; elle était formée en 1801, dans l'est du méridien de Zuydcote, d'un plateau allongé, où il ne restait que 1<sup>m</sup>,00 à 1<sup>m</sup>,90 d'eau aux plus basses marées et qui était relié aux sables de la côte devant le Broersduyn. De 1801 à 1866, il s'est produit, à travers cette partie surélevée du banc, une dépression de 1000 à 1500 mètres de largeur et de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur minimum sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. Dans le N.O. de la Panne, le plateau s'est étendu vers le large, en refoulant les fonds de la rade de Nieuport de 350 mètres en moyenne. L'extrémité est du Traepegeer, plus spécialement connue sous le nom de *Broers*, est restée comprise entre les mêmes limites, tandis que le sommet s'en est déplacé de près de 1000 mètres vers le S.O. De 1866 à 1883, il s'est opéré quelques mouvements de sable à la partie surélevée du banc, mais sa situation générale est restée sensiblement la même. La dépression qui s'est produite, de 1801 à 1866, devant la Panne, entre le plateau et la côte, s'est creusée encore en s'étendant vers le rivage; on y trouve actuellement des profondeurs variant de 6<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,70. Pendant la même période, le Broers s'est notablement abaissé.

En ce qui concerne la terrasse sous-marine située le long de la côte, entre le Broers et Middelkerke, en prolongement du Traepegeer, elle a subi peu de changements de 1801 à 1866; les courbes de niveau des fonds de 2, de 4 et de 6 mètres ont pris une allure moins irrégulière, suivant une direction à peu près parallèle à celle du rivage. Mais, d'après la reconnaissance hydrographique de 1880, l'estran sous-marin de cette partie de la côte tendrait à raidir depuis 1866; la ligne des fonds de 8 mètres a avancé de 200 à 300 mètres en moyenne vers la plage, et, immédiatement à l'est de Nieuport, elle présente même une saillie dont la pointe se trouve à 700 mètres à peine de la laisse des basses mers.

Entre Zuydcote et Oostduinkerke, les cartes marines de 1801 et de 1866 accusent des changements assez sensibles dans les plages et dans les fonds



attenants. La laisse des basses mers présentait en 1801 deux saillies à l'ouest de la frontière française et se tenait relativement près de la dune devant la Panne; en 1866, l'estran est devenu d'une largeur plus uniforme le long de cette partie du littoral, tout en se rétrécissant, tandis qu'il a légèrement gagné, au contraire, au droit du Broersduin et devant la Panne. D'après les sondages exécutés en 1883 par M. Petit, l'inclinaison de la plage sous-marine dans l'est de Zuydcote s'est accentuée encore depuis 1866; mais, passé Coxyde, elle est restée la même.

Les modifications de l'estran que l'on constate dans l'est de Zuydcote, sont probablement la conséquence de la dépression qui s'est formée à travers le Traepegeer. Tant que ce banc présentait la configuration indiquée sur la carte de 1801, les eaux, en arrivant de la rade de Dunkerque, s'engageaient en partie dans le faux-chenal situé au sud du sommet du Traepegeer, en s'appuyant contre la côte en face de la Panne. A mesure que ce plateau, subissant lui-même l'action des courants, s'est abaissé à l'endroit de la dépression, renseignée pour la première fois sur la carte de 1866, une partie des eaux a pu se propager peu à peu dans cette nouvelle direction vers la rade de Nieuport, et l'ensemble de la plage et du talus sous-marin, depuis Zuydcote jusqu'à Oostduinkerke, a pris insensiblement une autre configuration en rapport avec la tendance du flot à se frayer un passage à travers l'extrémité est du Traepegeer.

Occupons-nous un instant des bancs et des chenaux situés au large de la rade de Nieuport.

La configuration générale du Binnen-Ratel ne s'est guère modifiée de 1801 à 1866; la reconnaissance de 1879 accuse également fort peu de différence. Au Buiten-Ratel, les courbes de niveau de 8 et de 10 mètres, terminant le plateau à son extrémité nord-est, ont avancé de près de 1000 mètres vers le large.

De 1801 à 1866, le Kwintebank s'est élargi de 300 à 400 mètres au S.O.; il s'est développé de 1000 mètres à son extrémité N.E. et de 2000 mètres à son extrémité S.O., en se soudant, de ce dernier côté, à la pointe orientale du Smalbank, par des fonds avec 9<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse. La partie culminante du banc paraît s'exhausser. Quant au Middelkerkebank, on remarque seulement que son extrémité S.O. est devenue moins large et plus profonde.

Le courbe des fonds de 20 mètres, qui contourne, du côté du large, les Ruytingen, le Clif d'Islande et les bancs dont nous venons de parler, n'a presque pas changé d'allure, ni de position; l'étendue des grandes profondeurs qu'elle limite à l'intérieur des chenaux situés entre ces bancs, est restée sensiblement la même de 1801 à 1866. Ainsi, dans le chenal existant entre les bancs du Dyck



et ceux du Ratel, on observe des exhaussements en certains points, des abaissements en d'autres, mais ces modifications sont comprises entre des limites relativement restreintes et il serait difficile d'établir, au moyen des sondes trop peu nombreuses, renseignées sur les cartes de 1801 et de 1866, s'il y a en définitive addition d'alluvions.

Il en est de même pour les grandes passes situées respectivement entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank et entre ce dernier banc et le banc de Middelkerke. La première s'est creusée dans la zone du milieu ; à l'entrée de la seconde, les profondeurs de plus de 20 mètres du large se sont développées dans la partie centrale d'environ 3000 mètres vers le sud, à travers des fonds où l'on ne sondait en 1801 que 11<sup>m</sup>,40 à 17<sup>m</sup>,50.

Mais en comparant la reconnaissance hydrographique de l'atterrage de Dunkerque de 1879 à celle de 1836 et à la carte de 1801, on constate que le chenal compris entre le Breedt et le Smal s'est exhaussé d'une manière très-prononcée le long de la partie centrale du Breedt, à l'est de la soudure qui s'est produite entre ce banc et l'extrémité ouest du Smal et qui s'est plus particulièrement accentuée depuis 1836. L'exhaussement du chenal est sans doute une conséquence de cette soudure ; car à mesure qu'elle s'est formée, la masse des eaux qui circulent pendant le flot et le jusant entre les deux bancs, doit avoir diminué, et avec elle l'action érosive de ces courants sur le fond.

Résumons ce que nous venons de dire au sujet des changements survenus dans les fonds de la rade de Nieuport et de ses abords.

La situation hydrographique de ces parages maritimes est restée relativement stable depuis le commencement du siècle. Les profondeurs de la rade se sont bien maintenues depuis 1801, et la carte dressée en 1776, fait voir qu'elles datent de beaucoup plus loin encore. Les grands chenaux situés au nord, entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank et entre ce dernier plateau et le Middelkerkebank, ont conservé le même gisement et paraissent s'approfondir dans la partie centrale ; les passes par lesquelles ils débouchent dans la rade, se sont creusées également et tendent à s'améliorer encore ; on y trouve actuellement des fonds non interrompus avec 8<sup>m</sup>,00 d'eau au moins à marée basse. Les autres passes d'accès de la rade ont relativement peu changé et leur profondeur n'est pas inférieure à celle que l'on y trouvait en 1801.

Pour ce qui est de l'estran sous-marin situé entre la rade et la plage, son inclinaison s'est notablement accrue à partir de 1866 ; sur la carte des sondages de 1880, les courbes de niveau de 4, de 6 et de 8 mètres sont en effet plus



rapprochées de la côte, dans les environs de Nieuport, que sur la carte de 1866. Cet approfondissement des fonds attenants au rivage se manifeste dans l'est de Nieuport jusqu'au delà de Middelkerke.

### III. — RADES D'OSTENDE ET FONDS ENVIRONNANTS.

Les lignes de niveau limitant les fonds avec plus de 10 mètres d'eau de la grande rade d'Ostende n'ont presque pas varié depuis 1801 et la profondeur de cette rade paraît plutôt augmenter.

Sur le banc d'Ostende, situé au nord de la rade, on remarque, sur la carte de 1866, un léger exhaussement près de l'extrémité S.O. et dans la partie centrale; la bande étroite et allongée, avec moins de 8<sup>m</sup>,00 d'eau sous les plus basses marées, qui terminait en 1801 le banc au N.O., s'est au contraire plus ou moins creusée. De 1866 à 1880, le banc d'Ostende, de même que les sables reliant ce plateau à ceux de Wenduyne et de Nieuport, ont gagné en profondeur.

Le banc de Wenduyne a conservé le même gisement de 1801 à 1866. Le talus terminant du côté du large la partie ouest du plateau est devenu un peu plus raide vers le sommet; les sables de moins de 4<sup>m</sup>,00 de profondeur, qui occupaient en 1801 une surface assez grande à la crête, ont subi des déplacements vers l'est, en diminuant en même temps d'étendue. De 1866 à 1880, les lignes de niveau de 6 mètres limitant le banc de Wenduyne au nord et au sud, se sont rapprochées l'une de l'autre; la profondeur du banc a légèrement augmenté du côté ouest et les petits sommets, avec moins de 4<sup>m</sup>,00 d'eau, ont disparu. Dans le chenal situé au nord de la rade extérieure, entre les bancs de Middelkerke et d'Ostende, de même qu'au-dessus des fonds que l'on rencontre au sud de ces plateaux jusqu'au banc de Nieuport, et dans l'est de celui d'Ostende, la profondeur ne semble pas avoir changé depuis le commencement du siècle.

Quant à la ligne de niveau limitant les fonds de plus de 10 mètres qui s'étendent vers le large, dans le nord des bancs de Wenduyne et du Wandelaar, elle occupe à peu près exactement la même position sur les cartes de 1801 et de 1866; mais, sur cette dernière carte, son allure est moins sinueuse.

Parlons à présent du Stroombank et de la petite rade d'Ostende.

De 1801 à 1866, les courbes de niveau des fonds de 8, de 6 et de 4 mètres de profondeur, formant le talus nord du Stroombank, ont avancé vers la crête de celui-ci; le talus sud est resté également raide. A l'ouest d'Ostende, on remarque, à la partie culminante du plateau, des déplacements de sable qui ont modifié la



configuration et l'étendue des surfaces comprises entre les courbes de 4<sup>m</sup>,00, en donnant naissance à de nouveaux points surélevés, dont quelques-uns conservent à peine 1<sup>m</sup>,00 à 1<sup>m</sup>,70 d'eau à marée basse.

Mais du côté est, le Stroombank a subi des changements importants; son extrémité, limitée aux courbes de 4<sup>m</sup>,00 sous les plus basses marées, était située, en 1801, à 1500 mètres seulement au delà du chenal du port d'Ostende, et elle mesurait près de 1000 mètres de largeur entre ces courbes; en 1866 cette largeur est réduite de plus de la moitié, et le banc se trouve allongé d'environ 4000 mètres vers l'est, de manière à ne plus laisser qu'une passe de 550 mètres, avec 5<sup>m</sup>,30 de profondeur sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, entre son extrémité et les fonds de 4<sup>m</sup>,00 longeant le rivage.

On observera que les modifications du Stroombank sont nettement caractérisées par la prédominance d'un transport des sables vers l'est, ce qui provient sans doute de ce que ce banc, qui est très-élevé et compris entre deux grands fonds, suivant une direction à peu près parallèle à celle des courants de marée au moment de leur plus grande force, subit plus particulièrement l'action de ces derniers, combinée avec celle des vagues. Pendant le flot, les masses d'eau qui circulent à la fois dans la grande et dans la petite rade, tendent à resserrer les limites du plateau et à déplacer les sables vers l'est, surtout à cause de l'influence des vents régnants, lesquels agissent dans le même sens; d'un autre côté, comme le courant de flot tend à s'appuyer contre le talus nord du plateau, et qu'en outre l'effet des lames doit être plus intense de ce côté que du côté de la petite rade, il paraît naturel aussi qu'il se produise un certain déplacement des sables vers le sud, ainsi qu'on le constate au moyen des cartes de 1801 et de 1866, et mieux encore au moyen des plans de la rade d'Ostende, dressés sur une échelle plus grande, le premier en 1804 et le second en 1867, par les mêmes hydrographes M. Beutemps-Beaupré et M. Stessels. (Pl. IX).

En ce qui concerne la petite rade d'Ostende, la comparaison de ces derniers plans fait ressortir qu'elle n'a presque pas changé de position, ni d'étendue, mais qu'elle a subi un exhaussement très-appreciable dans toute la partie située à l'est du méridien de Mariakerke. En 1801, on y sondait 6<sup>m</sup>,20 à 7<sup>m</sup>,50 et jusqu'à 8<sup>m</sup>,00 d'eau sous le niveau des plus basses marées, ou 6<sup>m</sup>,90 à 8<sup>m</sup>,20 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires, tandis qu'on n'y trouve plus en 1867, que 5<sup>m</sup>,60 à 7<sup>m</sup>,00 sous ce dernier niveau. La carte de cette époque indique en outre deux petits plateaux, avec moins de 5<sup>m</sup>,00 d'eau, qui se sont formés près de la limite sud de la rade, le premier dans l'ouest d'Ostende, le second dans le nord du chenal de ce port; plus loin, devant la plage de Breedene, les



sables de moins de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur qui se rattachent à la côte, ont fait saillie dans la rade en deux endroits différents ; à l'un deux, ils sont allés rejoindre le talus de la partie prolongée du Stroombank, à travers des fonds où il y avait, en 1804, jusqu'à 7<sup>m</sup>,30 de profondeur sous le niveau des plus basses marées, soit 8<sup>m</sup>,00 sous celui des basses mers de vive eau ordinaires.

La reconnaissance hydrographique de 1880 montre que les changements survenus dans le Stroombank et dans la rade intérieure d'Ostende, de 1801 à 1866, se sont encore accentués depuis cette dernière époque. La ligne de niveau des fonds de 4<sup>m</sup>,00 appartenant au talus nord du banc a continué, du côté ouest surtout, à avancer vers le talus sud, de manière à réduire la largeur du plateau au sommet ; la hauteur de celui-ci a diminué, car les chiffres de sonde de la carte de 1880 n'y sont nulle part inférieurs à 2<sup>m</sup>,50 et se rapprochent plus généralement de 3<sup>m</sup>,00 aux points les plus élevés. L'extrémité orientale du banc s'est déplacée de nouveau d'environ 1400 mètres vers l'est, pendant que les fonds de sable avec moins de 4<sup>m</sup>,00 d'eau, qui se rattachaient à la côte devant le Spaniardduin, se sont rétrécis et ne présentent plus de saillie en cet endroit. La largeur de la passe comprise entre ces sables et la pointe du Stroombank, n'est actuellement que de 360 mètres avec un brassiage de 4<sup>m</sup>,50 à 4<sup>m</sup>,70 à marée basse.

Dans l'est de la petite rade, les fonds de vase et de sable vasard ont continué à s'exhausser depuis 1867 ; on n'y sonde plus que 4<sup>m</sup>,10 à 4<sup>m</sup>,70 sous marée basse, au lieu de 4<sup>m</sup>,70 à 6<sup>m</sup>,60 ; près du chenal du port, la profondeur est réduite de 7<sup>m</sup>,30 à 5<sup>m</sup>,90. Devant Ostende on sonde 5<sup>m</sup>,70 à 6<sup>m</sup>,40 aux endroits où il y avait, en 1867, 6<sup>m</sup>,50 à 7<sup>m</sup>,00. A partir de Mariakerke et dans la partie restante de la rade, la profondeur n'a pas diminué.

Le Stroombank figure en partie sur la carte de la côte nord de France de 1776, pour laquelle, nous l'avons déjà dit, la partie des bancs située à l'orient du méridien de Zuydcote n'a point été levée et a été tirée des cartes ordinaires les plus détaillées. Or, d'après ce document, le banc s'étendait, avant cette époque, jusque dans l'ouest de Nieuport, soit à 5000 mètres environ au delà de l'endroit où il se terminait en 1801, ce qui permettrait de conclure que le déplacement, vers l'est, des sables du Stroombank, se produisait déjà d'une manière très-apparente dans le courant du siècle dernier. Mais ce n'est là qu'une présomption, puisque les cartes marines de ce temps, n'indiquent généralement pas la position exacte des bancs.

L'exhaussement qui s'est opéré dans la petite rade d'Ostende, depuis le commencement du siècle, nous semble être une conséquence de l'approfondissement de



la passe du N.E., et plus encore du développement, vers l'est, du Stroombank. Car les eaux qui se propagent, pendant le flot, à travers la rade de Nieuport, ayant trouvé d'un côté un débouché de plus en plus profond vers la rade extérieure d'Ostende et de l'autre côté une passe de plus en plus rétrécie à l'extrémité de la petite rade, traversent nécessairement celle-ci en quantité moins considérable. En temps calme, les matières en suspension dans les eaux de la mer doivent par conséquent s'y déposer avec plus de facilité, et la force érosive des courants sur le fond, celle des courants de jusant surtout, ayant diminué en même temps, leur action n'est plus assez intense pour équilibrer l'effet de ces dépôts.

L'estran sous-marin situé au sud de la petite rade d'Ostende jusqu'à la laisse des basses mers, n'a pas changé d'une manière bien appréciable de 1801 à 1866; il en est de même des fonds qui se trouvent entre le banc de Wenduyne et la côte, depuis le Spaniardduin jusqu'à Blankenberghe, et qui comprennent la rade de ce port; le plan de cette rade, levé en 1872 par M. Stessels, et les sondages exécutés en 1880 par M. Petit, confirment la fixité relative des fonds de ces parages.

En résumé, la comparaison des cartes hydrographiques de 1801, de 1866 et de 1880, de même que celle des plans de la petite rade de 1804 et de 1867, font ressortir, quant au régime de l'atterrage d'Ostende, que les grands fonds et les chenaux situés au nord de la rade extérieure sont restés à peu près dans le même état depuis le commencement du siècle et que cette rade elle-même a plutôt gagné en profondeur.

Mais les sables du Stroombank, qui, d'après la carte de 1776, semblent avoir obéi, dès le siècle dernier déjà, à une tendance de transport vers l'est, ont subi depuis 1801 des déplacements très-prononcés; en 1866, le plateau a diminué en largeur et il s'est développé considérablement vers l'est, en se rapprochant de la côte près du Spaniardduin; le fond de la petite rade s'est exhaussé en même temps devant la plage de Breedene et jusque devant le port d'Ostende.

Les causes auxquelles il faut attribuer ces mouvements des fonds sous-marins de l'atterrage d'Ostende, et les conditions dans lesquelles elles se sont produites, ne permettent pas d'espérer qu'il s'agit ici de modifications accidentelles ou momentanées; cette opinion se confirme malheureusement par le résultat des sondages effectués en 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, sondages d'après lesquels le Stroombank a continué à se développer du même côté depuis 1866, et ce relativement plus vite que pendant la période précédente; la rade intérieure s'est exhaussée encore, dans sa partie est, de plus d'un mètre en moyenne depuis la même année.



Le mouvement des sables du Stroombank et surtout l'envasement de la petite rade sont extrêmement fâcheux pour le port d'Ostende ; non seulement ils compromettent son accès du côté de l'est, mais ils menacent de diminuer encore la profondeur de cette rade jusque devant l'entrée du port.

Du côté de l'ouest, on constate cependant une légère amélioration, en ce sens, que la partie occidentale du Stroombank s'est approfondie et peut par conséquent être mieux franchie, à marée montante, par les navires qui arrivent de la grande rade d'Ostende et se dirigent sur le port avec le flot, ce qui est la route ordinairement suivie.

Si l'on envisage maintenant, d'une manière générale, les faits déduits de la comparaison des reconnaissances hydrographiques de 1801, de 1866 et de 1880, on doit en conclure que les fonds de la côte des Flandres, depuis Dunkerque jusqu'à Blankenberghe, considérés dans leur ensemble, se maintiennent dans des conditions de stabilité relative très-remarquables.

La terrasse sous-marine, surmontée des nombreux bancs qui caractérisent ces parages maritimes, n'a guère changé d'étendue, et la courbe des fonds de 20 mètres sous marée basse qui la limite du côté du large, a conservé sensiblement la même allure ; les bancs et les passes y occupent partout à peu près les mêmes positions et l'on n'y constate la formation d'aucun banc nouveau ni d'aucune passe importante nouvelle.

Les mouvements observés dans les fonds occupés par ces bancs et par ces passes restent pour la plupart compris entre des limites assez restreintes et se bornent souvent à de simples déplacements de sable, s'effectuant dans l'étendue même des plateaux élevés. Parmi ces mouvements, il en est qui accusent une tendance de transport définitif des sables vers l'est et qui s'expliquent par l'action prépondérante des courants de flot, soutenus par les vents d'aval ; mais la plupart sont très-compiqués et dépendent de circonstances si diverses et si difficiles à apprécier, qu'il est impossible de préciser, dans chaque cas, les causes particulières qui les ont fait naître.

C'est généralement à la suite de circonstances atmosphériques exceptionnelles, telles qu'une série de vents de tempête soufflant de la même région, que l'action des courants de marée et des vagues donne lieu à des modifications accentuées dans les plateaux sous-marins de peu de profondeur ; dans quelques cas, celles-ci peuvent à leur tour occasionner certains changements dans le mode de propagation des courants, lesquels tendent ensuite à produire, d'une manière lente et continue, d'autres modifications dans un même sens, jusqu'à ce que l'équilibre entre la configuration des fonds et le nouveau régime des courants soit rétabli, ou qu'une nouvelle cause anormale vienne s'ajouter à la première.



Une chose importante à remarquer, c'est que les fonds de moins de 20 mètres de profondeur ne paraissent avoir subi aucun exhaussement appréciable depuis le siècle dernier. Certaines passes paraissent même, sur une partie de leur étendue au moins, avoir gagné en profondeur. Il faut, en excepter celles qui s'étendent entre le Breedt et le Smal, ainsi que les fonds de la partie est de la petite rade d'Ostende; et ces exhaussements, nous l'avons dit précédemment, sont probablement un effet, le premier de la soudure qui s'est formée entre la pointe occidentale du Smalbank et le Breedt, et le second, de l'allongement du Stroombank vers l'est.

La carte de 1801 ne renseigne que fort peu de sondes de plus de 20 mètres, et nous n'avons par conséquent pu rechercher, si les grands fonds de la côte de Belgique présentent également une tendance à l'exhaussement, comme il a été constaté pour ceux de la côte nord de France. Mais il est certain, dans tous les cas, que les additions d'alluvions qui se produisent dans l'étendue du littoral belge et qui résultent du gain de flot général de la Manche vers l'entrée de la mer du Nord, sont extrêmement lentes et que leurs effets, pour être bien sensibles, doivent être séculaires. Nous avons eu l'occasion d'expliquer ce fait, en parlant, au chapitre II, de l'origine et de la marche des alluvions dans ces mers.

#### IV. — ESTUAIRE DE L'ESCAUT ET CÔTE DE HEYST.

Passons à la comparaison des cartes hydrographiques de l'estuaire de l'Escaut, dressées, la première de 1799 à 1811, par M. Beautemps-Beaupré, et les autres respectivement en 1825, 1842, 1855, 1865 et 1878, par la Marine néerlandaise, et examinons successivement les changements survenus à ces différentes époques dans les bancs et les chenaux situés à l'embouchure du fleuve et devant la côte de Heyst.

De 1811 à 1842, la situation des fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 de profondeur sous la basse mer qui s'étendent au large des bancs de l'estuaire, depuis l'entrée du Spleet jusqu'à celle de l'Oostgat, est restée à peu près la même. Sur les cartes de 1855 et 1865, la courbe de niveau de 8<sup>m</sup>,00 prend une allure générale plus régulière au nord du Deurloo, et la partie rentrante, indiquée sur la carte de 1842 au-dessus du banc de Schooneveld, disparaît. De 1865 à 1878, elle tend à s'éloigner des bancs, devant le Spleet et le Deurloo.

A l'intérieur de l'Oostgat, on remarque que de 1811 à 1825, les profondeurs de la passe se sont rapprochées de la côte, depuis Westkapelle jusqu'en face de Biggekerke. En 1842, l'étendue des fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 paraît avoir légère-



ment augmenté à l'entrée, et le canal est un peu moins large près de la partie sud du banc de Zoutelande. De 1842 à 1855, on n'observe pas de modifications appréciables <sup>(1)</sup>; mais de 1855 à 1865, le plateau avec 6<sup>m</sup>,70 à 7<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse, qui séparait les fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 de la passe de ceux du large, a disparu, en même temps que le canal a repris son ancienne largeur près de l'extrémité sud du banc de Zoutelande. Le haut-fond de l'entrée reparait en 1878, mais il est plus profond qu'en 1855; on y sonde de 7<sup>m</sup>,20 à 7<sup>m</sup>,80 à marée basse.

Sur la carte française de 1811, les bancs du Rassen et de Zoutelande figurent comme un seul et vaste plateau, ayant partout moins de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur sous le niveau des plus basses marées, et présentant vers le sud une partie culminante fort étendue, dont l'extrémité est désignée sous le nom de banc de Zoutelande. En 1825, le Rassen paraît être moins élevé du côté N.O.; le banc de Zoutelande est plus développé au nord, le long de l'Oostgat, et est séparé du restant du plateau par un faux-chenal de 5<sup>m</sup>,00 à 6<sup>m</sup>,00 de profondeur sous le niveau des basses mers de morte eau ordinaires, se terminant, du côté S.E., par la pointe qui est restée commune aux deux bancs. De 1825 à 1842, l'extrémité nord du Rassen s'étend vers l'ouest; au sud, le banc est envahi au contraire par des profondeurs d'eau de 7<sup>m</sup>,00 à 8<sup>m</sup>,00, sur une largeur qui atteint en certains points jusqu'à 500 mètres. L'extrémité S.O. du banc s'avance par une pointe effilée vers l'entrée du Deurloo. Enfin la branche S.E. se sépare entièrement du banc de Zoutelande par des fonds de 5<sup>m</sup>,00 à 6<sup>m</sup>,00 sous marée basse.

De 1842 à 1865, les courbes de 5<sup>m</sup>,00, limitant au nord et au sud le plateau du Rassen, se sont beaucoup rapprochées; la limite sud est encore refoulée vers le nord sur une largeur variant de 300 à 800 mètres, et l'on constate en même temps un exhaussement dans la partie S.E. du plateau. L'extrémité nord du banc de Zoutelande s'est soudée au Rassen, et la branche qui s'avancait à l'ouest dans le Deurloo, a presque disparu. A partir de 1865, le Rassen tend à s'approfondir au sud.

De 1811 à 1825, le fond du Deurloo a subi un exhaussement général. La carte de M. Beaupré-Beaupré renseigne en effet, dans presque toute l'étendue de ce canal, des profondeurs de plus de 8 mètres par rapport aux plus basses marées, et aux endroits moins profonds, compris entre les courbes de niveau correspondant à cette cote, les sondes donnent encore de 7<sup>m</sup>,10 à

<sup>(1)</sup> Les sondages de la carte de 1833 ont été effectués principalement pour les fonds devant Flessingue et pour ceux de la passe du Wielingen.



7<sup>m</sup>,70, soit 8<sup>m</sup>35 à 9<sup>m</sup>,00 sous le plan des basses mers de morte eau ordinaires (<sup>1</sup>). En 1825, on ne trouve plus, à l'entrée du Deurloo, que 6<sup>m</sup>,70 à 7<sup>m</sup>,00 d'eau sous ce dernier niveau et, vers le milieu de la longueur de la passe, il existe encore des fonds très-étendus ne dépassant pas cette profondeur. De 1825 à 1842, l'exhaussement qui s'était produit à l'entrée de la passe, disparaît en grande partie. Depuis cette dernière époque jusqu'en 1865, on observe un sur-élévement dans les fonds de 8<sup>m</sup>,00 de la partie ouest du chenal; des plateaux où l'on ne sonde que 4<sup>m</sup>,00 à 5<sup>m</sup>,00 se dessinent du côté du large, un peu au sud de l'emplacement du petit banc, de même profondeur, indiqué sur la carte de 1825. L'ensablement du Deurloo continue de 1865 à 1878; les fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 y disparaissent entièrement. La carte de 1878 ne renseigne plus que des profondeurs variant de 6<sup>m</sup>,00 à 8<sup>m</sup>,00, mais celles de 7 mètres et plus dominant sur une largeur assez considérable dans la zone du milieu.

Le Raan a subi, de 1811 à 1825, un certain abaissement à sa partie culminante, et il s'est développé en même temps du côté est, en envahissant la dépression, qui existait à cette première époque avec 6<sup>m</sup>,50 d'eau sous les plus basses marées, entre ce plateau et le banc du Elleboog. Ce dernier a conservé la même configuration générale, mais le faux-chenal qui le sépare du Walvischstaart, s'est élargi et approfondi à son extrémité sud. Sur la carte de 1811, le Walvischstaart forme avec le Ribzand un seul plateau portant le nom de *Innerbanck*; il en est séparé en 1825 par une dépression de 7<sup>m</sup>,00 de profondeur sous le niveau des basses mers de morte eau ordinaires et, d'autre part, il s'est déplacé et notablement élargi vers le nord. De 1825 à 1842, le Raan a peu varié. Le banc du Elleboog s'est rétréci à l'endroit qui découvre à marée basse, et il s'est allongé à l'est vers Flessingue. Le Walvischstaart a perdu au sud, et la branche S.O., longeant le Spleet, s'est beaucoup raccourcie. En 1855, l'extrémité du Elleboog, qui s'étendait jusque devant Flessingue, est reportée vers l'ouest. De 1855 à 1865, la limite des fonds de moins de 5<sup>m</sup>,00 du Raan varie beaucoup; elle s'étend surtout du côté S.E. et fait saillie dans le Spleet. L'extrémité S.O. du Walvischstaart se relève vers le nord et tend à rejoindre le Raan. Le banc du Elleboog subit un déplacement vers le N.E. et les fonds de 8 à 12 mètres font reculer encore son extrémité est. A partir de 1865, le Raan s'approfondit de quelques décimètres à l'ouest, mais il s'étend au sud. Le Walvischstaart se développe au nord et les parties qui découvrent à marée basse diminuent en se déplaçant vers le N.E.

Le Spleet est renseigné sur la carte de M. Beutemps-Beaupré de 1811 sous

(<sup>1</sup>) Voir page 103. Note 4.



le nom de *Wielingen*, tandis que la passe que nous désignons actuellement ainsi, y porte la dénomination de *Passe française*. Il comprenait à cette époque, une suite de fonds avec 8<sup>m</sup>,00 à 10<sup>m</sup>,00 d'eau sous les plus basses marées, séparés à l'est du grand canal conduisant vers Flessingue par l'extrémité de l'Innerbank, appelée plus tard Walvischstaart. Le Spleet a conservé, jusqu'en 1825, à peu près la même configuration; on y constate cependant un certain relèvement du fond, mais qui n'est fortement accentué que dans le nord du Walvischstaart, où la passe a été envahie, en partie, par les sables de ce plateau. De 1825 à 1842, la saillie formée par la pointe S.O. du même banc a beaucoup diminué, pour faire place à des profondeurs de près de 8 mètres sous le niveau des basses mers de morte eau. Cette situation se maintient sensiblement jusqu'en 1855. Plus tard, la partie ouest du Spleet, où l'on sondait jusqu'à 9, 10 et 11 mètres d'eau, s'exhausse notablement; en 1865, on n'y trouve plus que des fonds variant de 6<sup>m</sup>,60 à 7<sup>m</sup>,90. Au milieu, la passe se développe au contraire vers le Wielingen à travers l'extrémité ouest du Hompel et le Carolusbankje, dont il ne reste plus de trace en 1865. De 1865 à 1878, le Spleet continue à s'exhausser du côté ouest, mais d'une manière moins prononcée que dans la période précédente.

D'après la carte de 1811, le banc du Kaloot, situé dans l'Escaut à l'est de Flessingue, se terminait à cette époque, devant la rade de ce port, par un plateau de 1000 mètres de longueur et 300 mètres de largeur moyenne, avec 3 à 5 mètres d'eau seulement sous le niveau des plus basses marées. Ce plateau disparaît presque entièrement en 1825 et l'extrémité du banc se trouve reportée à l'est de Flessingue.

Il n'existait, en 1811, aucune trace du Nolleplaatje, qui n'a commencé à se montrer qu'à partir de 1825.

De 1811 à 1825, le Hoogplaat, désigné sur la carte de cette dernière époque sous le nom de *Spykerplaat*, s'est légèrement étendu au sud. Sur les autres cartes néerlandaises, ce banc est appelé *Hoofdplaat* ou *Hooge Springer*; sa branche nord, qui est séparée du restant du plateau à partir de 1842, est indiquée sous la dénomination de *Spykerplaat*. Celle-ci subit, de 1811 à 1825, une certaine modification de forme et tend à se déplacer vers le N.O., en augmentant de profondeur.

Enfin on remarque, sur la carte de 1825, deux hauts-fonds qui se sont formés à l'entrée de la passe, appelée sur la carte française de 1811 *rade de Hoogplaat*; le premier se relie à la rive devant le fort Hendrik et s'étend jusque par le travers de Breskens, avec 5<sup>m</sup>,80 à 7<sup>m</sup>,40 d'eau à marée basse; le second



est situé à l'est de la côte de Breskens et n'a que 4<sup>m</sup>,80 à 7<sup>m</sup>,20 de profondeur.

De 1825 à 1842, une nouvelle partie de la branche ouest du Kaloot, de plus de 2000 mètres de longueur, disparaît et est remplacée par des fonds de 8 à 14 mètres.

Le Nolleplaatje, peu remarquable en 1825, s'exhausse et tend à se développer.

Le Hoofdplaat a subi peu de changements, mais le haut-fond à surface allongée que l'on observe en 1825 à l'est de la côte de Breskens, s'est exhaussé et s'est développé jusqu'à rejoindre le Hoofdplaat. Sur la carte de 1842, il paraît former une branche de ce banc et est désigné sur les cartes ultérieures sous le nom de *Plaat van Breskens*.

L'autre plateau, qui s'était formé à l'entrée de la rade de Hoogplaat, a notablement diminué en se rattachant entièrement à la côte; il disparaît d'ailleurs en 1855.

Le Spykerplaat subit un nouvel approfondissement de 1825 à 1842, en conservant la même tendance de déplacement vers le N.O.

De 1842 à 1855, l'extrémité ouest du Kaloot diminue encore. Le Nolleplaatje gagne en étendue. La pointe N.O. du Hoofdplaat s'allonge vers l'ouest et il en est de même du banc de Breskens, qui s'étend jusque dans le nord de ce village. Le Spykerplaat augmente en profondeur au sommet.

A partir de 1855, la partie ouest du Kaloot continue à être refoulée par les fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00. Le Nolleplaatje s'élargit et sa saillie, par rapport à la côte de l'île de Walcheren, augmente; il se développe à peu près exactement vers la région de l'ouest. Le Hoofdplaat et le banc de Breskens ne changent pas d'une manière notable. Le Spykerplaat se déplace encore vers le N.O.; sa profondeur ne varie pas sensiblement.

En 1878, le Nolleplaatje s'est avancé à travers la passe de l'Oostgat et tend à rejoindre l'autre rive. Le Hoofdplaat et le banc de Breskens n'ont pas subi de modifications importantes; les extrémités S.O. de ces plateaux ont un peu reculé vers l'intérieur du fleuve. Le Spykerplaat continue à se déplacer dans le même sens; on y sonde déjà de 6<sup>m</sup>,50 à 8<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse.

Nous avons dit que le Ribzand, comprenant les bancs de Heyst et de Knocke et le Hompel, formait en 1811 avec le Walvischstaart un seul plateau, nommé *Innerbanck* et n'ayant nulle part plus de 5<sup>m</sup>,00 d'eau sous le niveau des plus basses marées. En 1825, les bancs de Heyst et de Knocke ont peu varié en hauteur; le premier de ces bancs a conservé le même emplacement, mais le second s'est déplacé vers le nord sur presque toute son étendue, et la dépression qui le sépare du Walvischstaart, est devenue beaucoup plus prononcée. Enfin, à l'extrémité



du Ribzand s'est formé le plateau du Hompel, qui s'avance vers le Wielingen et dont il ne figure qu'un petit plateau isolé, sans dénomination spéciale, sur la carte de 1811.

De 1825 à 1842, la partie centrale du Ribzand se rétrécit. Le banc de Heyst se développe de 1000 mètres environ vers l'est et de 500 mètres vers l'ouest. Celui de Knocke change de forme et de dimensions : sa branche ouest, de 1500 mètres de longueur, disparaît et sa branche est s'amincit en s'allongeant de 1000 mètres. Le banc du Hompel s'exhausse fortement au milieu ; on n'y trouve en 1842 que 2<sup>m</sup>,30 à 4<sup>m</sup>,00, aux endroits où il y avait, en 1825, de 5 à 7 mètres d'eau ; il s'accroît en même temps vers l'est d'environ 1000 mètres. Depuis 1842 jusqu'en 1855, ces bancs sont restés à peu près dans le même état ; le Hompel cependant s'est élargi à l'extrémité ouest, et l'on observe en cet endroit un nouveau plateau de moins de 2,50 de profondeur, nommé *Carolusbankje*, que nous avons déjà cité en parlant de la passe du Spleet.

Le Ribzand et le Hompel subissent de nouveaux changements de 1855 à 1865 ; le Ribzand se développe vers le S.O. en refoulant la limite des fonds du Wielingen. Le banc de Heyst se raccourcit des deux côtés et est réduit, en 1865, à peu près à la longueur qu'il avait en 1825 ; mais il se trouve à 600 mètres environ au N.E. de l'emplacement indiqué sur la carte de cette dernière année. Le banc de Knocke a pris une autre forme ; il se trouve raccourci d'environ 2000 mètres et déplacé vers l'est de 1000 mètres. Le Hompel est allongé du même côté, tandis que son extrémité, formant le *Carolusbankje*, est envahie par les fonds du Wielingen, qui vont rejoindre en cet endroit ceux du Spleet. Le Ribzand ne change plus beaucoup de 1865 à 1878. Le Hompel, au contraire, recule vers l'est ; la partie centrale de ce banc s'élargit et se déplace vers le nord, en diminuant en même temps de profondeur.

Pour ce qui est des plateaux du Wandelaar, situés dans l'ouest du Ribzand, on remarque qu'ils ont diminué d'étendue de 1811 à 1866, en se déplaçant vers le S.E. ; les derniers sondages effectués en 1880, montrent que leurs sommets sont un peu moins élevés qu'à cette dernière époque.

Arrivons à la passe du Wielingen. Elle présentait, en 1811, approximativement les mêmes limites et les mêmes profondeurs qu'en 1825, mais la situation des bancs de cette passe était bien différente.

Le banc, nommé *Paardemarkt* sur la carte de 1825, se trouvait à l'extérieur et près de la limite sud du canal ; il faisait partie du plateau connu aujourd'hui sous le nom de *Binnen-Paardemarkt*, et appelé en 1811 simplement *Paardemarkt*, dont il semblait former une branche détachée, de surface étroite et allongée.



On y sondait de 4<sup>m</sup>,20 à 4<sup>m</sup>,90 d'eau sous le niveau des plus basses marées.

Au nord du Sluissche Gat, on rencontrait le banc de l'Ecluse, dont la profondeur générale variait de 6<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,80 et qui se réduisait à la crête, sur 500 mètres de longueur et 250 mètres de largeur moyenne, à moins de 4 mètres.

Le banc de Cadzand était situé en face du Zwarte Polder, et présentait une partie culminante de 1500 mètres de longueur, où il ne restait que 3<sup>m</sup>,60 à 4<sup>m</sup>,90 d'eau aux plus basses marées.

En 1825, le banc du Paardemarkt se trouve déplacé vers le nord, à l'intérieur de la passe du Wielingen; il est séparé complètement du restant du plateau, et a gagné légèrement en étendue et en profondeur. Le banc de l'Ecluse n'existe plus. Celui de Cadzand est devenu moins large et s'est allongé de près de 1000 mètres vers l'est.

De 1825 à 1842, la courbe des fonds de 8<sup>m</sup>,00 qui limite le Wielingen au sud, conserve la même direction; elle devient plus régulière et se rapproche de la côte de 450 à 500 mètres, en moyenne, devant Blankenberghe et Knocke. De 1842 à 1855, le Wielingen, ne varie pas d'une manière sensible. Mais le Paardemarkt s'approfondit encore en se déplaçant vers l'est; on y sonde en 1855, de 7<sup>m</sup>,20 à 9<sup>m</sup>,00 d'eau. Le banc de Cadzand perd à l'ouest et continue aussi à gagner en profondeur. A dater de 1855 et jusqu'en 1865, la situation générale du Wielingen ne se modifie guère; la limite sud des fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 s'éloigne d'environ 400 mètres en moyenne devant Blankenberghe; elle prend une allure plus irrégulière devant Heyst et Knocke.

En 1865, on sonde sur le Paardemarkt de 8 à 9 mètres d'eau. Le banc de Cadzand a subi un nouveau déplacement vers le N.E.; il a diminué en étendue, mais présente deux petits plateaux de moins de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur.

De 1865 à 1878, la ligne des fonds de 8<sup>m</sup>,00 reste sensiblement la même devant Blankenberghe et Heyst. Elle se rapproche de près de 1000 mètres devant Knocke, en formant en cet endroit une saillie qui s'allonge vers Heyst. Les bancs du Paardemarkt et de Cadzand ont partout une profondeur supérieure à 8<sup>m</sup>,00 et ne sont plus à craindre pour la navigation.

Parmi les bancs qui longent la côte de Belgique, le Binnen-Paardemarkt est un de ceux qui ont subi le plus de changements. Ce plateau occupait, en 1811, une surface considérable entre les courbes de niveau de 5<sup>m</sup>,00 sous les plus basses marées; il était terminé au sud par une ligne assez régulière, ayant une direction générale légèrement inclinée par rapport à celle de la côte, tandis qu'au nord on remarquait des saillies très-accentuées; comme nous l'avons dit plus haut, l'une d'elles constituait, à l'extrémité est, une espèce de branche distincte,



dont une partie se trouve détachée en 1825 et va former, à l'intérieur du Wierlingen, le banc du Paardemarkt. Du côté ouest, le Binnen-Paardemarkt s'étendait jusqu'en face du Luciferduin et se rattachait, à l'est, aux sables du Zeehondenplaat, par une zone de 1000 mètres de largeur. A 3000 mètres environ de sa pointe occidentale commençait le banc de Wenduyne, et entre ces deux bancs on rencontrait des fonds avec 5<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,80 d'eau, interrompus par un petit plateau isolé de 4<sup>m</sup>,90 à 5<sup>m</sup>,20 de profondeur seulement sous le niveau des plus basses mers.

La fosse de Heyst, située au sud du Binnen-Paardemarkt, s'étendait depuis le village de Heyst jusqu'à l'entrée du Sluissche Gat, et présentait de 250 à 500 mètres de largeur; on y sondait de 8 à 11 mètres d'eau sous le même niveau.

Sur la carte de 1825, où les chiffres de sondes sont rapportés aux basses mers de morte eau ordinaires, la courbe de fonds de 5 mètres, limitant le Binnen-Paardemarkt, comprend par là même une surface notablement moindre que celle indiquée sur la carte de M. Beauteemps-Beaupré; mais on constate aussi que le plateau s'est approfondi du côté du large. Les sables culminants, avec 0<sup>m</sup>,60 à 2<sup>m</sup>,50 d'eau sous les plus basses marées, qui se montraient au delà du méridien de Knocke, de même que le sommet saillant qu'on observait dans le nord de ce village, se sont déplacés vers l'est pour se réunir en un seul plateau, formant de ce côté l'extrémité du banc. La branche qui s'avancait près de celle-ci vers le N.O., est devenue plus étroite et se dessine plus nettement.

Quant à la fosse de Heyst, elle s'est développée à l'est jusqu'au nord du Zeehondenplaat à travers les sables du Binnen-Paardemarkt, lequel n'est plus relié à la côte que par une bande étroite avec 5 mètres d'eau en moyenne.

De 1825 à 1842, la branche supérieure du Binnen-Paardemarkt s'est rapprochée du rivage; elle est devenue moins large et s'est allongée vers l'ouest; sa profondeur a augmenté. La fosse de Heyst a subi un certain développement vers l'ouest.

De 1842 à 1855, le Binnen-Paardemarkt change beaucoup à l'extrémité est; il envahit de ce côté la fosse de Heyst sur plus de 2500 mètres de longueur et se soude de nouveau aux sables du Zeehondenplaat comme en 1811, mais par un plateau plus large. En 1865, la branche supérieure de ce banc n'existe plus; l'autre branche est devenue plus large devant Knocke, et le plateau avec moins de 2<sup>m</sup>,50 d'eau qui s'arrêtait au Sluissche Gat, a avancé d'environ 2000 mètres vers ce village. La partie ouest du banc, de moins de 5<sup>m</sup>,00 de profondeur, est au contraire raccourcie de près de 2500 mètres.

La fosse de Heyst s'est étendue vers l'est jusqu'au delà du Zeehondenplaat,



au point de séparer de nouveau le Binnen-Paardemarkt de la côte par un chenal étroit, dont la profondeur atteint jusque 9<sup>m</sup>,00 et va en diminuant dans sa partie est, où elle n'est plus que de 5<sup>m</sup>,00. Elle s'est raccourcie au contraire d'environ 4000 mètres à l'ouest, et sa limite sud paraît s'être rapprochée de la plage devant Heyst et Knocke.

De 1865 à 1878, le Binnen-Paardemarkt s'élargit à l'extrémité est et s'éloigne de la côte en cet endroit. La pointe ouest, limitée par la courbe de 5<sup>m</sup>,00, s'élargit et s'allonge jusque devant les écluses de Heyst, à peu près jusqu'à l'endroit où le banc se terminait en 1825. Le plateau élevé de la partie est du banc, continue à marcher vers Heyst et tend à se rapprocher de terre; la carte de 1878 renseigne, devant Knocke, des cotes de 2<sup>m</sup>,70 à 3<sup>m</sup>,60 en des endroits où il y avait, en 1865, 4<sup>m</sup>,00 à 4<sup>m</sup>,60.

La fosse de Heyst se développe à l'ouest, et la carte précitée indique, dans cette direction, des fonds de 7<sup>m</sup>,70 et 7<sup>m</sup>,80 jusque par le travers des écluses de Heyst. Elle paraît légèrement retrécie devant Knocke et continue à avancer vers le Wielingen, dont elle n'est plus séparée que par des fonds de 6 à 8 mètres. Devant le Zeehondenplaat, les fonds de plus de 8<sup>m</sup>,00 se sont exhaussés jusqu'à 7<sup>m</sup>,20 et 7<sup>m</sup>,90.

On remarque sur la carte de 1811 que le plateau Het Zand, situé en prolongement du banc de Wenduyne, offrait à cette époque, dans l'ouest de Blankenberghe, une profondeur de 5<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,80 sous le niveau des plus basses mers. En 1825, la partie la plus profonde de ces sables se trouve dans le nord du Luciferduyn, et ne présente plus que 5<sup>m</sup>,60 d'eau à la crête, sous les basses mers de morte eau ordinaires. Le plateau Het Zand ne change guère de situation de 1825 à 1855; à partir de cette dernière époque, il s'approfondit de nouveau à l'endroit précité; en 1865, on y sonde en effet 6<sup>m</sup>,20 sous le niveau moyen des basses mers, profondeur qui se maintient de 1865 à 1878.

La comparaison du plan de l'atterrissage de Heyst, levé en 1879 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, avec la carte de M. Stessels de 1866, donne des résultats qui concordent, dans leur ensemble, avec ceux que nous venons de constater, pour ces parages maritimes, au moyen des cartes néerlandaises de 1865 et 1878. Elle fait ressortir en effet :

1° Que le plateau élevé de la partie orientale du Binnen-Paardemarkt s'est avancé vers l'ouest, et que l'on sonde aujourd'hui 2 à 3 mètres d'eau à marée basse en des endroits où il y avait, en 1866, 4<sup>m</sup>,80 de profondeur;

2° que ce banc tend à se rapprocher de la côte;

3° que la fosse de Heyst s'est développée vers l'ouest.



D'après la carte de M. Petit, le développement de la fosse de Heyst est plus prononcé que d'après la carte néerlandaise de 1878. Mais cette différence est plus apparente que réelle, car les fonds renseignés sur cette dernière carte à l'ouest de la fosse, ont jusqu'à 7<sup>m</sup>,70 et 7<sup>m</sup>,80 de profondeur, et tendent par conséquent à se confondre avec elle. Ensuite, les reconnaissances hydrographiques que nous comparons, datent, les premières de 1865 et 1878, les secondes de 1866 et 1879.

La description des changements que les fonds sous-marins, situés à l'embouchure de l'Escaut occidental, ont subis depuis le commencement du siècle, peut se résumer comme suit :

La surface occupée par l'estuaire de ce fleuve a fort peu varié depuis le commencement du siècle, et l'on n'y remarque aucune perturbation profonde dans la situation des bancs et des passes.

Les grands plateaux, tels que le Rassen, le banc de Zoutelande, le Raan, les bancs du Elleboog et du Walvischstaart, éprouvent des changements continuels, qui ne semblent obéir à aucune tendance déterminée. Ils se développent tantôt dans un sens, tantôt dans un autre ; leurs parties culminantes, surtout celles qui découvrent à marée basse, se déplacent, changent de dimensions ou s'étendent sur une surface plus grande du plateau.

Le Ribzand, comprenant les bancs de Heyst et de Knocke, de même que le banc du Hompel, subissent aussi des modifications compliquées, mais qui sont cependant caractérisées par la prédominance d'un déplacement des sables vers l'est. Ainsi, le Ribzand se développe vers le S.E. de 1811 à 1825, et forme le plateau du Hompel, renseigné pour la première fois sur la carte de cette dernière époque ; le banc de Heyst s'allonge de 1825 à 1842, du côté est surtout ; il revient à peu près à ses dimensions premières en 1865, mais il se trouve à 600 mètres environ au nord-est de son ancien emplacement. De 1825 à 1842, le banc de Knocke perd notablement à l'ouest, en même temps que le Hompel, situé à droite, s'exhausse dans toute son étendue et s'agrandit vers l'est. Le banc de Knocke diminue encore de 1855 à 1865 et se déplace de près de 1000 mètres dans la même direction.

Dans les passes du Deurloo et du Spleet, il s'est produit un exhaussement général du fond.

L'Oostgat s'est bien maintenu, à part les mouvements du Nolleplaatje, qui menacent d'y créer de sérieux embarras.

La passe du Wielingen, au contraire, s'améliore d'une manière continue ; le banc de l'Ecluse, que l'on rencontrait en 1811 au milieu de la passe, n'existe



plus en 1825; les bancs du Paardemarkt et de Cadzand, qui formaient à cette dernière époque des écueils fort dangereux pour la navigation, gagnent graduellement en profondeur et disparaissent entièrement, le premier en 1865, le second en 1878; et, chose remarquable, ces bancs subissaient en même temps un déplacement vers l'E. ou le N.E., analogue à celui que nous avons déjà constaté pour le Ribzand, mais plus net et plus prononcé.

Le banc du Kaloot, le Nolleplaatje et le Spykerplaat, situés dans les parages de Flessingue, ont tous éprouvé des changements successifs dans un même sens; l'extrémité ouest du premier de ces bancs a diminué d'une manière continue depuis 1811; elle s'étendait à cette époque jusque devant Flessingue, et abritait à l'est de ce port la rade de Rammekens, qui en réalité n'existe plus aujourd'hui. Le Nolleplaatje, qui apparaît en 1825 sous forme d'un petit plateau allongé, dirigé parallèlement à la côte S.O. de l'île de Walcheren et relié à celle-ci devant le Fort-op-Duin, s'est avancé constamment vers l'ouest à travers la passe de l'Oostgat. Enfin le Spykerplaat s'est creusé lentement en se déplaçant vers le N.O. De 1811 à 1825, il se forme, près de la pointe S.O. du Hoofdplaat, un haut-fond nommé plus tard le banc de Breskens, lequel a continué à s'exhausser et à s'allonger vers l'ouest et était déjà relié en 1842 à ce dernier plateau. On remarquera que ces modifications dans les fonds situés aux environs de Flessingue tendent, en définitive, à développer la grande passe navigable vers la rive nord du fleuve et à restreindre la passe existant entre le Hoofdplaat et la rive sud.

Quant au Binnen-Paardemarkt, il a subi des changements successifs très-différents. Dans la première période, de 1811 à 1825, il devient moins large et les sables culminants, existant dans l'est de Knocke, se déplacent vers l'embouchure de l'ancien Zwyn, pour se réunir de ce côté en un plateau surélevé; de 1825 à 1865, la branche supérieure qui faisait saillie dans le Wielingen, s'incline peu à peu vers la côte et se confond finalement avec la branche principale; le banc s'exhausse en même temps d'une manière très-prononcée devant le Zeehondenplaat, tandis que sa pointe occidentale est encore refoulée de 2500 mètres environ vers l'est. De 1865 à 1878, la partie exhaussée tend à avancer vers Knocke, et le banc s'accroît à l'ouest, au point de revenir, à très-peu de chose près, à l'emplacement qu'il occupait en 1825.

La fosse de Heyst s'allonge et se raccourcit alternativement depuis 1811; du côté est, elle finit par s'étendre jusqu'au delà du Sluissche Gat et par séparer le banc du Binnen-Paardemarkt de la côte.

La terrasse sous-marine située au sud du Wielingen, devant Wenduyne,



Blankenberghe et Heyst, paraît avoir plus de fixité. Le plateau Het Zand, qui comprend la dépression avec 6<sup>m</sup>,20 d'eau à marée basse, conduisant du canal du Wielingen, entre les bancs de Wenduyne et du Binnen-Paardemarkt, vers les fonds de 7<sup>m</sup>,00 attenant à la côte, s'est maintenu à peu près dans les mêmes conditions de profondeur depuis l'époque de la reconnaissance hydrographique de M. Beauteemps-Beaupré.

Il est à remarquer que l'étude des changements constatés dans les fonds sous-marins, est surtout complexe lorsqu'on se trouve en présence de l'embouchure d'un fleuve, où la propagation des courants de marée s'effectue dans des conditions toutes différentes de celles qu'on observe le long d'une côte non interrompue. Dans l'estuaire de l'Escaut, le mouvement des alluvions est très-considérable par les coups de vent du N.O.; les vagues y agitent alors la nappe liquide avec le plus de violence et remuent profondément les dépôts vaseux formant le fond des passes et des faux-chenaux; en arrivant sur les vastes plateaux du Rassen, du Raan et du Walvischstaart, etc., elles se brisent avec force et projettent le sable dans la direction de leur mouvement.

Ainsi qu'il a été dit dans un chapitre précédent, les matières soulevées à l'embouchure pendant le flot, sont entraînées à l'intérieur du fleuve, où les eaux, trouvant plus de calme, les déposent en partie, principalement au moment de l'étalement; les courants de jusant attaquent au contraire ces dépôts et donnent lieu à un débit d'alluvion de l'amont vers l'aval, dans lequel interviennent évidemment les apports des eaux supérieures. Mais comme l'Escaut a peu de pente dans sa section d'aval, les matériaux denses amenés de l'amont se déposent généralement pendant leur trajet et ne parviennent pas jusqu'à la mer; quant aux sables fins et aux vases, en arrivant à l'embouchure, ils sont entraînés en majeure partie par les courants de jusant et emportés avec la masse des eaux, dans laquelle ils perdent leur caractère propre en se mélangeant aux alluvions marines; le restant va se loger dans les passes profondes et dans les endroits plus ou moins abrités de l'estuaire.

A l'action des marées et des gros temps viennent se joindre encore celles résultant des crues extraordinaires et de la débacle des glaces; cette dernière cause, qui ne se produit toutefois qu'à d'assez longs intervalles, est fort efficace pour désagréger le sable des bancs de peu de profondeur.

Mais si les divers agents qui interviennent dans les mouvements des fonds de l'estuaire de l'Escaut, sont de leur nature très-variables et ne peuvent d'ailleurs être analysés, il est à remarquer cependant, qu'en ce qui concerne les ondulations de la marée, elles se reproduisent périodiquement dans les mêmes conditions et



que, d'autre part, les circonstances atmosphériques qui déterminent les tempêtes, les crues d'eau et la débâcle des glaces, se succèdent d'une manière assez semblable, quand on embrasse un espace de temps suffisamment long ; il s'ensuit que leur action se combine de telle sorte que la configuration générale des bancs et des passes ne fait qu'osciller autour d'un état d'équilibre, en rapport avec les forces naturelles en jeu, et dont elle ne semble pouvoir s'écarter qu'à la longue, si, bien étendu, les causes anormales qui occasionnent un premier changement ne sont pas favorisées par des travaux de main-d'homme. C'est ainsi que nous avons constaté que les bancs de l'embouchure de l'Escaut n'ont subi nulle part, depuis trois quarts de siècle, des déplacements importants, ni des modifications profondes. La surface de l'estuaire n'a pas varié pendant ce long intervalle de temps, et aucune des passes principales ne s'est oblitérée.

Des faits analogues ont été observés à l'entrée de la Mersey, dans la mer d'Irlande. Cette rivière présente, près de New-Brighton, une largeur de 1200 mètres environ, mesurée à la basse mer ; puis elle s'élargit très-rapidement et communique avec la mer au moyen de plusieurs passes, séparées par de larges bancs, dont le sommet se trouve de 2<sup>m</sup>,00 à 2<sup>m</sup>,50 au-dessus du niveau de marée basse ; le Great-Burbobank atteint même de 4<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,00 dans ses parties les plus élevées. Dans toutes ses passes, il existe des hauts-fonds ou barres, dont la formation doit surtout être attribuée à l'élargissement brusque de la rivière en aval de New-Brighton ; sur la barre de la passe principale, il ne reste que 3<sup>m</sup>,00 à 3<sup>m</sup>,50 d'eau en basse mer. (Pl. XVIII).

Or, il paraît résulter des observations faites depuis environ 120 ans, que la masse des alluvions de la baie de la Mersey n'a guère augmenté ; on y constate des modifications continuelles dans la configuration des bancs et dans la direction des chenaux, mais la baie, considérée dans son ensemble, a peu varié ; on a même reconnu que la profondeur des passes tend plutôt à s'accroître.

La formation des alluvions maritimes est d'ailleurs très-lente en général, même à l'embouchure des fleuves à marées « Quand on envisage la masse des  
« alluvions, dit M. l'Ingénieur Bouniceau, qui s'est accumulée vers les embou-  
« chures, on ne prend pas généralement garde au temps considérable qu'elles  
« ont mis à se former, et on est disposé, soit à espérer la formation rapide  
« d'atterrissements nouveaux propres à l'agriculture, soit à craindre la formation  
« de bancs de sable nuisibles à la navigation. Ces espérances ou ces craintes  
« sont, le plus souvent, exagérées. Elles n'ont de raison actuelle que pour les  
« chenaux des ports ou des petits cours d'eau formant une issue fort restreinte,  
« que les galets ou les sables tendent à barrer par leur cheminement journalier.



« Lamblardie a calculé pour les côtes de la Haute-Normandie la rapidité de la formation des alluvions. En admettant comme véritables ses chiffres, que quelques ingénieurs jugent trop élevés, et en faisant abstraction de l'appoint dû aux alluvions fluviales, on trouve qu'il faudrait trois mille ans pour former un banc égal à celui de Trouville, situé au large de l'embouchure de la Seine <sup>(1)</sup> ».

Parmi les bancs de l'estuaire de l'Escaut, ceux du Ribzand et du Hompel, avons-nous vu, ont subi des changements caractérisés par la prédominance d'un transport vers l'est, soit dans la direction des courants de flot au moment de leur plus grande force. Un effet semblable a été constaté aux bancs du Paardemarkt et de Cadzand, situés en 1825 dans la passe du Wielingen et qui ont disparu graduellement, en se déplaçant vers l'est. Ces effets ne peuvent être attribués qu'à l'action prépondérante des courants de flot, soutenus par les vents régnants de l'ouest.

Quant aux changements qui se sont manifestés dans les bancs du Kaloot, du Nolleplaatje, du Spijkerplaat et du Hoofdplaat existant à l'intérieur de l'Escaut, dans le voisinage de Flessingue, ils ont eu pour résultat de reporter la grande passe navigable vers la rive nord du fleuve, et paraissent subir aussi l'influence d'une particularité propre au régime des courants de marée dans ces parages. Il serait intéressant de rechercher, au moyen des anciennes cartes de l'Escaut, les modifications les plus importantes, constatées successivement dans le lit de la partie maritime du fleuve, depuis le siècle dernier. En coordonnant autant que possible l'ensemble des faits observés, on arriverait peut-être à établir entre eux une certaine dépendance et à préciser, jusqu'à un certain point, les conditions dans lesquelles ces modifications se sont produites. Mais ces recherches, fort longues sans doute, sortiraient du cadre de cet ouvrage.

Disons en passant que le barrage du Sloe, construit en 1871, ne paraît pas avoir influé d'une manière sensible sur le régime des courants devant Flessingue. Dans le Sloe même, les courants se sont évidemment affaiblis, tant au nord qu'au sud de la digue, et il est à prévoir que ce bras de mer s'envasera rapidement. Le barrage de l'Escaut occidental, qui date de 1867, n'a pas non plus produit des effets défavorables pour la situation générale du fleuve; on a même observé que, depuis cette époque, l'amplitude de la marée a augmenté de quelques centimètres à Flessingue.

Nous avons à revenir un instant aux changements survenus dans le banc du Binnen-Paardemarkt, qui méritent une attention toute spéciale au point de vue du projet d'établissement d'un nouveau port à Heyst, dont il sera question plus

(1) M. Bouniceau. *Etudes et notices sur les constructions à la mer.*



loin; car le Binnen-Paardemarkt se trouve immédiatement à côté de la dépression, avec 6<sup>m</sup>,20 d'eau à marée basse, conduisant du Wielingen vers la côte de Heyst, et il s'agit donc d'examiner avec soin si le régime des sables du banc ne menace pas de compromettre l'existence de cette passe d'accès.

Il résulte de ce qui précède que, de 1811 à 1825, il y a eu approfondissement du Binnen-Paardemarkt dans l'ouest de Knocke, pendant que les sables de la partie culminante se sont déplacés dans le sens du courant de flot; plus tard la branche supérieure du banc, subissant sans doute l'effet des courants du Wielingen, s'est inclinée insensiblement vers la branche principale et s'est confondue avec celle-ci en 1865; car c'est à cette époque qu'apparaît le plateau surélevé, d'environ 6 kilomètres de longueur et dépassant de 2<sup>m</sup>,00 le niveau général du banc. Il s'est développé depuis vers l'ouest, soit dans le sens de l'action des courants de jusant, tandis que d'autre part le flot, qui longe la côte et s'engage dans la fosse de Heyst, semble vouloir éloigner du rivage l'extrémité est du plateau.

Le fait du développement de la partie culminante du Binnen-Paardemarkt, s'il était continu, provoquerait peu à peu un avancement de tout le banc vers celui de Wenduyne et par conséquent l'exhaussement de la dépression de 6<sup>m</sup>,20 de profondeur, existant entre les deux. Mais un examen attentif tend à démontrer que les sables de ce plateau peuvent tout au plus subir de ce côté des mouvements oscillatoires.

Il est à remarquer d'abord que la partie ouest du banc, après avoir perdu de 1811 à 1825, s'est successivement allongée et raccourcie à dater de cette dernière année et que sa pointe extrême occupe en 1878, à peu de chose près, le même emplacement qu'en 1825.

Ensuite, si l'on calcule aussi approximativement que les données des cartes hydrographiques le permettent, la masse de tout le plateau située au-dessus d'un plan horizontal passant au niveau des fonds de 6<sup>m</sup>,00 sous marée basse, on trouve que cette masse, après avoir notablement perdu de 1811 à 1825, a successivement augmenté et diminué depuis, et qu'elle n'est guère plus considérable en 1878 qu'à cette dernière époque; de plus, la partie culminante qui s'est formée de 1855 à 1865, a conservé à peu près le même volume.

On peut donc admettre que le Binnen-Paardemarkt ne subit pas des additions successives d'alluvions, mais que sa masse oscille, depuis 1825, entre certaines limites, tout en étant sujette à des déplacements dans le sens de la plus grande force des courants de flot et de jusant.

Or, il ne semble exister aucune cause qui puisse faire prévoir un mouvement de déplacement continu des sables vers l'ouest.



En effet, le banc est sollicité d'un côté par l'action du courant de jusant, qui, au sortir de l'Escaut, entre dans le Wielingen suivant une direction N.O. et O.N.O., et s'incline ensuite vers l'entrée de la passe; et de l'autre côté par le courant de flot, qui, au moment de sa vitesse maximum, longe la côte suivant la direction E.N.E.

En examinant sur la carte la direction relative de ces deux courants, au moment de leur plus grande force, par rapport à la situation du banc, et en tenant compte de tout ce que nous avons dit précédemment au sujet de la vitesse relative des courants et de l'influence des vents, on est porté à conclure, sinon à une tendance définitive de transport vers l'est, analogue à celle que nous avons constatée pour les plateaux du Paardemarkt et de Cadzand, et même pour le Ribzand, au moins à la probabilité d'un mouvement oscillatoire, semblable à celui qui s'est manifesté depuis 1825 pour la partie ouest du banc. (¹)

Ajoutons que les endiguements successifs du Zwyn, au moins ceux qui ont été effectués en 1864 et 1872, ne paraissent pas avoir modifié sensiblement la situation hydrographique de la côte en cet endroit. Ces endiguements peuvent tout au plus avoir exercé de l'influence sur une étendue relativement restreinte de la plage, aux environs de l'embouchure de cet ancien bras de mer.

#### V. — PLAGES ET DUNES DE LA CÔTE DES FLANDRES.

Pour terminer l'étude du régime de la côte des Flandres, ajoutons quelques considérations sur la situation de l'estran et des dunes de ce littoral.

Il n'est guère possible de suivre exactement, au moyen des indications des cartes marines, les changements survenus aux différentes époques dans la position de la laisse des basses mers. Toutefois on constate aisément qu'entre Dunkerque et Ostende, la plage n'a pas subi de modifications sérieuses depuis l'époque où elle a été levée par M. Beaupré. La laisse des basses mers a pris, il est vrai, une allure assez différente entre Zuydcote et Oostduinkerke, mais sans éprouver, dans son ensemble, un déplacement bien accentué.

Dans l'est de Nieuport, jusqu'à l'embouchure de l'Escaut, la mer tend plutôt à envahir la côte. Ainsi, l'on observe un recul sensible du pied de la dune aux environs de Middelkerke, fait coïncidant avec l'approfondissement qui

(¹) La commission instituée par arrêté ministériel en date du 10 Octobre 1878, pour examiner le projet de M. de Maere concernant l'établissement d'une communication directe de Bruges à la mer, et dont nous avons eu l'honneur d'être le secrétaire-rapporteur, a bien voulu nous charger, en Janvier 1880, d'un rapport sur le régime des bancs et des passes de l'estuaire de l'Escaut et de la côte de Heyst. Les développements que nous venons de donner à ce sujet sont en grande partie la reproduction de ce rapport, dont les conclusions ont été adoptées par la commission.



se manifeste, devant cette partie du littoral, dans les fonds sous-marins attenants au rivage. Les dunes se creusent également au delà d'Ostende, entre le Spaniardduin et la pointe de Wenduïne, suivant une courbe légèrement concave, dont la flèche se trouve près de l'aubète du Coq. De Wenduïne à Heyst, où l'estran est défendu au moyen d'épis en fascinages, elles paraissent avoir peu changé, tandis que devant Heyst et Knoeke, elles ont diminué en largeur.

On peut affirmer que la configuration générale du littoral des Flandres se trouve, depuis quelques siècles déjà, dans une situation très-semblable à celle de nos jours. Pour s'en convaincre, il suffit de voir le remarquable tableau en perspective à vol d'oiseau du pays du Franc de Bruges, peint par Pierre Pourbus en 1566, et dont une copie, faite en 1597 par Claeysens, se trouve dans une des salles de l'hôtel de ville de Bruges. Les dunes comprises entre Nieuport et le Zwyn y sont représentées très-clairement et offrent beaucoup de ressemblance avec celles qui figurent sur nos cartes actuelles, tant en direction qu'en étendue.

Il existe, au dépôt des archives de l'Etat à Bruges, trois autres plans fort intéressants, relatifs à la côte d'Ostende et de Blankenberghe, quoique de date plus récente.

Le premier comprend la ville et le port d'Ostende avec ses environs, et date de 1725 ; il montre qu'à cette époque, comme aujourd'hui, les dunes situées à l'est de ce port offraient peu de largeur et qu'il avait fallu les défendre près de Mariakerke par la digue d'Albertus.

Les deux autres ont été dressés, le premier en 1788 et le second en 1806, et nous représentent les dunes de la côte de Blankenberghe dans un état assez peu différent de celui dans lequel elles se trouvent aujourd'hui. (1)

L'existence de la partie faible de la côte, comprise entre la pointe de Wenduïne et le village de Heyst et précédée partout d'un estran étroit et incliné, remonte donc à une époque éloignée. Elle résulte sans doute, à l'origine, du voisinage de l'embouchure de l'Escaut, dont la passe principale se tient, devant Heyst et Blankenberghe, à une distance relativement faible de la plage ; le talus sous-marin qui précède celle-ci est en outre fort raide et semble en quelque sorte former la continuation des rives affouillées du fleuve. Or, nous savons que, dans de pareilles conditions, l'action érosive des vagues de tempête n'est plus équilibrée par les sables apportés, pendant les temps calmes, à la partie supérieure de l'estran et au pied des dunes, de sorte que le rivage doit être envahi insensiblement par la mer.

(1) On désigne ordinairement sous le nom de *Côte de Blankenberghe*, toute la partie du littoral comprise entre Wenduïne et Heyst.



C'est ce qui a eu lieu à la côte de Blankenberghe, où plusieurs faits le prouvent à l'évidence.

Citons en première ligne, l'existence de l'ancien tronçon de digue, dont les vestiges apparaissent sur la plage aux environs de la jetée 37, et que l'on retrouve, de part et d'autre de cet ouvrage, sous les sables du cordon des dunes, entre la jetée 41, établie à 800 mètres des écluses de Heyst, et la jetée 27, située à l'est de Blankenberghe. Il se raccorde en ces points avec la digue du Comte Jean qui fut achevée en 1400. Or celle-ci présente précisément, au droit de la jetée 27, un ressaut brusque et presque à angle droit, ce qui indique clairement que le tronçon dont il s'agit, en faisait primitivement partie et qu'il a dû être reconstruit plus tard en recul, à la suite d'une rupture qui se sera produite dans la digue entre les points de raccordements précités. C'est entre ces mêmes points, fait remarquable à noter, que l'action affouillante de la mer sur l'estran se fait encore le plus vivement sentir aujourd'hui.

Le couronnement des parties conservées de l'ancienne digue a 4<sup>m</sup>,50 de largeur, et ne se trouve qu'à 7<sup>m</sup>,25 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau; ses talus sont inclinés à raison de 4 de base pour 1 de hauteur du côté de la mer, et à raison de 2 de base pour 1 de hauteur du côté opposé. Ces dimensions, comparées aux dimensions actuelles de la digue du Comte Jean, prouvent aussi que celle-ci a été notablement exhaussée et renforcée depuis l'époque de sa construction.

Un autre fait non moins concluant pour montrer que la côte des Flandres, depuis Wenduine jusqu'à Knoeke, a été entamée par la mer, c'est que l'on voit sur l'estran, à marée descendante, les vestiges des fondations des anciennes écluses d'évacuation de Blankenberghe et d'Eyensluis. Ces ouvrages, qui sont figurés sur la carte du Comté de Flandre par Ortelius, de 1590, se trouvaient respectivement près de l'emplacement du port actuel, à Blankenberghe, et immédiatement à côté du chenal de l'écluse du canal de Selzaete, à Heyst.

Du côté de Wenduine enfin, la digue du Comte Jean était encore séparée, au siècle dernier, du cordon des dunes, par quelques parties basses comme celles que l'on trouve à l'est de Blankenberghe, tandis qu'aujourd'hui la dune n'y consiste plus qu'en un amas de sable faisant corps avec la digue elle-même.

Les premiers épis de défense contre l'action envahissante de la mer, ont été établis sur la plage de Wenduine vers 1604; ils ont été multipliés plus tard et leur construction a été appliquée successivement à toute l'étendue de la côte comprise entre ce dernier village et celui de Heyst.

On sait que ces ouvrages ont principalement pour but de favoriser l'accu-



mulation du sable et d'intercepter les courants qui se produisent pendant la montée et la descente de l'eau sur le rivage, et y creusent, dans l'estran, des sillons plus ou moins profonds, disposés dans le sens de son orientation. Ces sillons se déplacent continuellement, disparaissent et reparaissent selon le jeu variable des marées et des vents. Sur les plages resserrées, ils s'étendent jusque près du pied de la dune et y rendent les éboulements du talus, occasionnés par les tempêtes et les grandes marées, plus considérables. L'établissement d'épis transversaux à la côte a pour effet de fixer les sables de l'estran suivant une surface à pente régulière, c'est-à-dire dans les meilleures conditions pour l'épanouissement des lames.

Mais déjà en 1600, le retour des inondations qui ravagèrent nos côtes à différentes époques, et dont il est fait mention dans l'histoire, n'était plus beaucoup à craindre, grâce aux endiguements à l'aide desquels on avait graduellement amélioré les conditions de sécurité du littoral. La digue du Comte Jean, ainsi appelée, parce qu'elle a été entreprise par le Comte Jean, fils de Guy de Dampierre, vers l'année 1300, à la suite de la grande inondation de 1280, fut construite dès le début, non seulement devant Blankenberghe et Heyst, mais sur toute l'étendue de la côte depuis Gravelines jusqu'à l'Ecluse. Une autre digue avait été établie en 1240 entre le Zwyn et l'embouchure de l'Escaut.

Cependant l'état amaigri des dunes de Blankenberghe a continué à inspirer aux riverains de vives appréhensions; celles-ci n'étaient pas toujours partagées par l'administration de la wateringue de Blankenberghe, chargée autrefois de la construction et de l'entretien des ouvrages de défense de cette partie de la côte.

C'est ce qui résulte d'une ancienne brochure publiée par cette wateringue et intitulée : *Exposition des principes qui ont guidé les directeurs de la wateringue de Blankenberge dans les choix et l'emploi des ouvrages propres à garantir le Pays. Apologie de leur conduite vérifiée dans les observations présentées au Magistrat du Franc de Bruges sur un mémoire présenté au Gouvernement-Général le 13 Janvier 1788.*

La brochure reproduit les divers articles du mémoire adressé au Gouvernement-Général pour démontrer la nécessité de faire reconstruire, par la wateringue de Blankenberghe, les jetées qu'elle avait laissé périr devant cette localité, et en regard, les observations des directeurs de la wateringue, lesquels contestent l'utilité de ces ouvrages et surtout l'existence des dangers d'inondation.

Il nous suffira d'en citer les passages suivants :

Art. 1 du mémoire : « Les dangers d'inondations auxquels seroit exposé le « pays, sont fondés sur quatre circonstances locales »



Observation des directeurs de la wateringue :

« Le pays n'est exposé à aucun danger moral ; il ne peut l'être tant que la  
« digue de précaution derrière les dunes ne soit attaquée et auroit souffert de  
« fortes dégradations. »

Art. 3 du mémoire : « Que ces dunes (les dunes situées à l'ouest de Blan-  
« kenberghe) sont aujourd'hui tellement rongées et emportées qu'elles n'ont plus  
« à plusieurs endroits que neuf à dix pieds au sommet. »

Observation des directeurs de la wateringue :

« On se trompe si on croit que la mer attaque les dunes par le sommet ;  
« fussent-elles pointues, cela n'y feroit rien, pourvu que la base soit large par  
« où elles sont toujours entamées, et que le corps soit assez épais pour ne pas  
« pouvoir être aisément emporté dans une forte marée.

« Mais on avoue bien plus ; on ne déguise pas que la mer extraordinaire-  
« ment élevée et gonflée en date du 25 Janvier dernier ait emporté la moitié  
« de quelques-unes de ces dunes et les ait affaissées à la hauteur de cinq à  
« dix pieds ; ce spectacle ne présente cependant rien de nouveau, c'est ce qui  
« arrive de tems à autre. En 1767, le 2 Janvier, la tempête emporta ces dunes  
« en plusieurs endroits jusqu'à laisser entrevoir la digue de précaution ; une de  
« ces dunes fut même creusée au-dessous du niveau de la grève par une chaloupe  
« qui fut jetée de son ancre sur le sec entre les dunes et la digue de précaution.

« Les ouragans de 1772 et 1779 causèrent des dégâts à ces mêmes dunes  
« presque pareils à ceux de l'année 1767 ; la digue de précaution a toujours  
« rassuré contre le danger ; puis la nature et quelques foibles moyens de l'art  
« les ont réparées plus ou moins lentement suivant que les vents ont été plus  
« ou moins propices. »

Si nous reproduisons ces passages, c'est pour montrer encore que les dunes de la côte de Blankenberghe n'étaient pas beaucoup plus puissantes dans le siècle dernier que maintenant. Aujourd'hui, comme alors, elles font naître certaines craintes qui se manifestent plus vivement après chaque grande tempête.

Ces craintes nous paraissent au moins exagérées ; elles sont plutôt inspirées par les traditions des inondations qui ont eu lieu avant le XVI<sup>e</sup> siècle, et l'on ne tient généralement pas compte de ce fait que les endiguements et la construction des écluses ont complètement changé la situation de notre littoral. Anciennement la mer pénétrait librement, à chaque marée, dans les vastes criques qui existaient en divers points de la côte ; par des tempêtes extraordinaires, accompagnées de marées exceptionnellement élevées, les flots inondaient et dévastaient nécessairement, sur une étendue plus ou moins considérable, les terres basses qui bordaient



ces chenaux irréguliers et leurs nombreuses ramifications. Mais à présent que les criques ont disparu de notre côte, l'ensemble des dunes et des digues y constitue une ligne de défense continue, arrêtant partout les incursions de la mer et suffisamment puissante pour résister à l'action des flots.

Certes, par des coups de vent violents de l'ouest au N.O., surtout quand ils coïncident avec la pleine ou la nouvelle lune, les eaux de la mer s'accumulent sur notre rivage; les vagues viennent heurter avec violence le pied des dunes, et enlèvent des quantités plus ou moins considérables de sables qui sont entraînés vers les régions où agissent les courants de marée; par des tempêtes extraordinaires, il arrive même que la dune est coupée à pic sur une grande partie de sa hauteur. Mais le sable enlevé revient peu à peu sur l'estran et au pied des dunes pendant la bonne saison; et, si d'une part le régime hydrographique de la côte de Blankenberghe est cause que la plage tend, en définitive, à s'amaigrir et à reculer vers l'intérieur, d'autre part l'influence des épis établis sur l'estran combat efficacement cette action envahissante de la mer, concurremment avec les plantations d'oyats destinés à fixer le sable des dunes et avec quelques travaux de consolidation exécutés au pied de celles-ci.

Quant aux empiètements de la mer que l'on observe devant Knocke et près de l'aubète du Coq, entre Ostende et Wenduïne, où les dunes sont d'ailleurs très-larges, elles résultent plutôt de circonstances locales et particulières.

Ainsi, les dunes de Knocke présentent une certaine saillie par rapport à la direction des dunes attenantes, ce qui s'explique par le voisinage de l'embouchure de l'ancien Zwyn; depuis que ce bras de mer a été endigué, la côte recule devant Knocke d'une manière continue, tandis que l'anse située au droit du Zwyn se comble (Pl. XVI, fig. 2); cette partie du littoral tend peu à peu à prendre une allure plus régulière, en rapport avec le régime actuel des courants en cet endroit; et les érosions qu'on y constate et qui, pendant ces dernières années, mesuraient jusqu'à 3 mètres par an, iront en diminuant à mesure que la situation du talus de la dune, du côté de la mer, se rapprochera de son état d'équilibre.

Entre Ostende et Wenduïne, on observe un cas différent; l'alignement général de la côte y présente un rentrant, dont le point culminant se trouve près de l'aubète du Coq; les dunes y subissent des érosions très-accentuées, qui sont encore un effet local, résultant cette fois de l'existence d'une anse en voie de formation entre deux parties avancées, le Spaniardduin et Wenduïne. (Pl. XVI, fig. 3).

Mais on ne peut pas conclure de ces faits locaux à un recul équivalent et général de la côte entre Ostende et le Zwyn, et encore beaucoup moins à des



dangers imminents d'inondation. Ces dangers ne sont pas à craindre si l'on entretient d'une manière convenable les ouvrages de défense établis sur l'estran ; encore faudrait-il une succession de circonstances atmosphériques tout à fait anormales ou des phénomènes extraordinaires et dont il n'est pas d'exemple de mémoire d'homme, pour que la mer parvienne à rompre la barrière que la nature, aidée de l'industrie humaine, a élevée le long de notre littoral.

Ayant été chargé en 1869, de lever le plan général de ce littoral, depuis la frontière française jusqu'à la frontière néerlandaise, nous avons commencé par le plan de la côte de Blankenberghe.

Pour y représenter la configuration de l'estran, nous avons observé le 25 Novembre 1870, soit à l'époque des marées de vive eau et par un temps calme, les laisses de mer d'heure en heure et sur un signal donné, en ayant soin de rapporter leur position sur l'estran au zéro d'Ostende et nous avons adopté les courbes ainsi obtenues comme des courbes de niveau.

Nous avons procédé à de nouveaux nivellements de l'estran et de la dune en février 1880, et dernièrement en 1883, soit environ 13 ans plus tard, en rapportant la position des laisses de mer à la même base d'opération. Or, la comparaison des profils déduits de ces observations et dont deux sont indiqués pl. XVI fig. 1., fait voir que l'estran a fort peu varié entre Wenduyne et Heyst depuis 1870 ; sur les profils de 1883, il est même un peu plus élevé que sur ceux de cette dernière année, ce qui provient sans doute de ce que les premières expériences avaient été précédées d'une série de vents plus défavorables au maintien des sables de la plage.

Mais nulle part le talus de la dune n'a réculé d'une manière bien appréciable, et cependant l'intervalle de ces treize années a été marqué par de nombreuses tempêtes ; celle du 30 Janvier 1877 notamment a été tellement violente qu'elle a produit une certaine émotion dans le pays, et qu'une commission a été instituée par arrêté royal, afin de donner son avis sur les travaux à effectuer pour garantir la côte contre l'action de la mer.

Le plan des dunes et de l'estran situés entre le village de Heyst et le Zwyn, que nous avons dressé en 1872, comparé à un nouveau levé effectué au mois d'Avril 1880, n'accuse également d'autres changements qu'un certain recul de la laisse des basses mers et du pied des dunes dans le voisinage du phare de Knocke, et un léger accroissement de la plage devant l'ancien Zwyn.

Il est évident que les observations dont nous venons de comparer les résultats, ont été faites à des époques trop rapprochées pour être concluantes, mais elles confirment néanmoins, jusqu'à un certain point, ce que nous avons dit plus haut au sujet des conditions de sécurité actuelles de notre côte.



## SECONDE PARTIE.

---

### CHAPITRE V.

#### AMÉLIORATION DES PORTS A MARÉE COMME CEUX DE LA CÔTE DES FLANDRES. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

---

##### I. — DISPOSITION DU CHENAL D'ENTRÉE.

Les ports du littoral de la Belgique, Nieuport, Ostende et Blankenberghe, de même que ceux de la côte nord de France, communiquent avec la mer au moyen d'un chenal limité par deux jetées, dont les extrémités ne dépassent pas la laisse des plus basses mers.

Les jetées de ces ports sont à claire-voie et se ressemblent beaucoup quant au mode de construction; elles se composent d'une suite de fermes en charpente, espacées en moyenne de 2<sup>m</sup>,40 d'axe en axe et terminées par des musoirs. (Pl. XXIII). Chaque ferme comprend deux pieux principaux et un troisième pieu secondaire, reliés ensemble au moyen de moises et d'arcs-boutants formant des figures triangulaires, comme le prescrit le principe fondamental de la charpente. Les fermes de chaque rangée sont reliées elles-mêmes par des cours de longrines et par un tablier placé d'ordinaire à 2 ou 3 mètres au-dessus des plus hautes mers. La plate-forme des musoirs, sur laquelle sont installés les feux de port, est plus élevée d'un mètre à peu près que le restant du tablier; elle est aussi plus large. Les musoirs des jetées d'Ostende ont 12 mètres et ceux de Nieuport 13 mètres de largeur. Comme ces parties de l'ouvrage sont les plus exposées à la violence des vagues, les fermes en sont assemblées avec beaucoup de solidité.

Les jetées à claire-voie sont bordées inférieurement par des jetées basses, construites en fascinages avec enrochements, ou en maçonnerie. Ces ouvrages sont établis de manière à ce que leur arête supérieure se trouve partout à 1<sup>m</sup>,00



environ au-dessus de l'estran et suive l'inclinaison de celui-ci; ils sont destinés à maintenir le chenal à travers les sables de la plage, et à y diriger les courants résultant de l'introduction de la marée et ceux correspondant aux chasses.

On a surtout recours aux jetées à claire-voie lorsqu'on veut maintenir à l'intérieur de celles-ci un certain degré d'agitation et laisser subsister en partie les courants littoraux, dans le but de diminuer le dépôt des matières entraînées par les eaux. Mais il arrive que les lames et les courants ont par là même trop d'action dans le chenal et y créent des embarras pour la navigation. Dans ce cas, on cherche à obtenir un résultat intermédiaire, soit en coffrant les deux jetées ou l'une d'elles à moitié ou au tiers de leur hauteur, soit en adoptant des jetées pleines pour la partie supérieure du chenal, suivant les nécessités locales. (Pl. XXIII).

Le système des jetées en charpente du genre de celles que nous venons de décrire, est celui que l'on rencontre le plus fréquemment; ces ouvrages ont l'avantage d'être d'une construction facile et économique et de se prêter aux remaniements et aux modifications dans le tracé; mais ils sont d'un entretien coûteux et offrent peu de durée, surtout dans les ports où l'on rencontre le taret.

Il a été construit récemment à l'embouchure de l'Adour, près de Bayonne, des tronçons de jetées à claire-voie métalliques, comprenant des colonnes creuses en fonte, surmontées d'une passerelle en fer. (Pl. XVII, fig. 1.). Les colonnes creuses ont 2 mètres de diamètre et sont espacées de 5 mètres d'axe en axe; elles ont été enfoncées dans le sol à 7<sup>m</sup>,30 en contre-bas de la plus basse mer, au moyen de l'air comprimé, et remplies ensuite de béton; à l'extrémité de la jetée, on leur a donné une fiche plus grande en vue des affouillements. Le pied des tubes est entouré d'enrochements, dont le plan supérieur est réglé suivant une pente, vers le large, de 1 centimètre par mètre, de manière qu'à la dernière colonne, le niveau en soit descendu à 3<sup>m</sup>,00 en contre-bas de celui des plus basses mers. D'un tube à l'autre règnent, à des hauteurs différentes, deux cours de moises longitudinales en fer, destinées à recevoir des vannes en bois, armées de fer. Ces vannes offrent entre elles des vides de 18 centimètres et laissent, entre leur bord inférieur et le plan d'enrochement, une ouverture qu'il est possible de diminuer à volonté; on peut en outre enlever une ou deux des trois vannes qui remplissent l'intervalle entre deux tubes, de sorte qu'on est libre de régler, suivant les circonstances, la proportion entre les pleins et les vides de la jetée.

Avant la construction des jetées dont les premiers tronçons, du côté de la rive, sont en partie pleins et en partie en charpente à claire-voie avec enrochements,



la passe d'entrée de la rivière subissait des déplacements continuels ; ceux-ci restent actuellement compris entre ces ouvrages, dont l'espacement est de 170 mètres. Mais sous l'action des vagues du N.O., les sables mis en mouvement le long de la plage, s'accumulent près de la jetée nord pour former de ce côté un haut-fond dans le chenal, et quand il survient alors une série de coups de vent du S.O., ce qui est quelquefois le cas en hiver, les atterrissements se produisent à la jetée opposée et menacent de barrer la passe ; c'est alors qu'il faut fermer momentanément les intervalles de la jetée nord pour empêcher que les eaux ne s'échappent à travers ces ouvertures, au lieu d'attaquer et d'entraîner au large le haut-fond qui s'avance dans le chenal. <sup>(1)</sup>

On a construit, dans certains cas, des jetées à claire-voie en maçonnerie ; ce sont des massifs évidés au moyen d'une série de pertuis recouverts par des arceaux, et dont le nombre et l'ouverture dépendent du plus ou moins de calme que l'on veut obtenir.

La jetée de l'anse du Portel, près de Boulogne, en offre un exemple ; elle se compose d'une fondation de 0<sup>m</sup>,80 d'épaisseur moyenne, établie dans une marne noire compacte, d'un soubassement de 0<sup>m</sup>,50 d'épaisseur moyenne et de deux étages de blocs en maçonnerie de 3<sup>m</sup>,00 de hauteur chacun. Le couronnement est arasé au niveau des hautes mers de vive eau ordinaires. Dans l'étage inférieur de blocs, on a laissé des ouvertures de 1<sup>m</sup>,00 de largeur sur 3 mètres de hauteur, espacées de 4 mètres d'axe en axe. Avec ce système, on pourrait aussi se ménager le moyen de modifier, dans certaines proportions, les vides en employant des vannes ou des poutrelles.

Voyons quelles sont les dispositions qu'il convient d'adopter pour les chenaux d'accès des ports.

L'orientation des jetées, quoique de bien moindre importance depuis le développement de la navigation à vapeur et l'organisation des services de remorquage, mérite néanmoins un examen attentif. Il importe de la fixer de telle sorte que l'entrée et la sortie des navires soient rendues aussi faciles que possible. Mais c'est surtout de l'entrée qu'il faut se préoccuper, car celle-ci doit pouvoir se faire au besoin pour des bâtiments qui fuient devant la tempête, tandis que les navires qui se trouvent dans le port peuvent, en pareil cas, attendre un moment plus favorable pour reprendre le large.

Lorsque le chenal est droit et qu'il reçoit directement les vents dominants, les navires à voiles y entrent plus facilement par les gros temps ; mais ils y sont animés alors d'une très-grande vitesse, ce qui les expose à de sérieuses difficultés

<sup>(1)</sup> Notice de l'exposition de 1873.



et même à des dangers avant d'arriver aux écluses d'entrée des bassins. Cet inconvénient est beaucoup atténué, lorsque le chenal communique avec un avant-port convenablement disposé, ayant une longueur et une superficie suffisantes pour permettre aux navires d'y amortir leur aire.

Mais il en existe un autre; les lames du large qui sont poussées dans le chenal par des vents violents, causent à l'intérieur de ce dernier une grande agitation, et quand elles se propagent jusque dans l'avant-port sans perdre suffisamment de leur amplitude, elles y donnent lieu à de sérieux dangers pour les navires. Dans ce cas on a souvent recours aux *brise-lames* ou *criques d'épanouissement*.

Ce sont des enceintes établies de part et d'autre du chenal et communiquant avec celui-ci au moyen d'ouvertures pratiquées dans les jetées; les lames vont déferler sur les plans inclinés qui forment le fond de ces enceintes et y perdent en grande partie leur intensité. (Pl. XVII, fig. 5.) Les coupures de l'une des jetées correspondent ordinairement aux parties pleines de la jetée opposée, afin de laisser passer, à travers l'un des côtés du chenal, les lames réfléchies par l'autre côté, et de diminuer ainsi le clapotage produit par le mouvement, en sens différent, des vagues incidentes et des vagues réfléchies. Pour que les brise-lames soient efficaces, il faut que le fond en soit très-faiblement incliné et qu'il descende le plus bas possible du côté du chenal; il doit d'ailleurs être disposé, de même que le mur d'enceinte, de manière à concentrer, autant que faire se peut, la réaction des vagues à l'intérieur de ces ouvrages. La forme et l'emplacement à donner aux brise-lames dépendent du reste beaucoup aussi des circonstances locales.

Sous le rapport de la propagation des lames, un chenal courbe est préférable à un chenal rectiligne, mais, à moins d'avoir une grande largeur, il présente des difficultés pour le mouvement des navires.

Si les jetées étaient orientées de telle façon que la direction de l'axe du chenal fasse un angle obtus avec celle des vents dominants, les navires à voiles, chassés par le vent, seraient exposés dans certains cas à manquer la passe d'entrée et à être lancés à la côte, au delà du musoir sous le vent.

MM. de Cessart et Lamblardie ont proposé de conduire le chenal vers le large sous une direction perpendiculaire à celle des vents régnants, laquelle permet aux navires d'entrer et de sortir avec vent large et de perdre plus facilement leur aire dans le port. Mais si les courants côtiers ont une grande intensité et se propagent dans la même direction que le vent, les navires courent encore risque d'être entraînés et de manquer la passe d'entrée; car ayant moins



de vitesse en arrivant, ils ont aussi moins de puissance pour gouverner.

Quelques auteurs ont recommandé la direction qui fait un angle de  $67^{\circ}$  environ avec celle des vents dominants, pour le motif qu'un navire ne pourrait avancer contre le vent avec une obliquité moindre. D'autres enfin ont conseillé un angle de  $10^{\circ}$  à  $15^{\circ}$ , comme le plus avantageux, entre la direction des jetées et celle du vent dans les gros temps.

Pour les ports de la côte des Flandres, où le régime des vents est caractérisé par la prédominance des vents d'ouest, et où les vents du nord au sud, en passant par l'ouest, ont le plus d'intensité, la meilleure direction à donner au chenal, en tenant aussi compte du régime des courants côtiers, semble se rapprocher du N.O. ; c'est celle qui a été adoptée pour les ports de Calais, de Gravelines et de Dunkerque, comme pour ceux de Nieuport, d'Ostende et de Blankenberghe. Elle permet aux navires, qui arrivent par les gros temps de l'O.N.O. au N.O., d'entrer dans le port, vent arrière, et de couper obliquement le courant de flot ; dans ces conditions, ils sont moins exposés à être lancés en travers du chenal, au moment où l'avant du bâtiment est déjà engagé entre les jetées et que l'arrière subit encore toute la force du vent et du courant.

La direction d'un chenal étant fixée, il s'agit d'examiner s'il est préférable de donner aux jetées la même longueur en mer, ou bien une longueur différente, et ensuite, s'il faut adopter pour ces ouvrages une direction parallèle, divergente ou convergente.

La première question dépend surtout des circonstances locales. Dans les ports de la côte des Flandres, les courants de marée acquièrent leur plus grande vitesse aux environs de la haute mer, soit aux heures où les navires trouvent suffisamment d'eau devant la tête des jetées pour attaquer le chenal, et ils agissent alors dans le même sens que les vents régnants. Eu égard à ces conditions particulières, il semble préférable, pour l'entrée comme pour la sortie des bâtiments, de donner un excès de longueur à la jetée au vent. Cette disposition facilite le mouvement d'évolution que les navires ont à effectuer à l'entrée, lorsque, en pénétrant dans le chenal, ils présentent le travers au courant et au vent, qui tous deux tendent à les drosser contre la jetée opposée ; et, à la sortie, les navires qui, par des vents contraires, se sont déhalés jusqu'au musoir de la jetée au vent, ne sont plus gênés par l'autre jetée pour appareiller et prendre la bordée du large.

Mais la différence de longueur des jetées n'est pas favorable pour le maintien de la profondeur de la passe d'entrée, à cause du remous qu'elle provoque et qui augmente le danger d'ensablement ; d'un autre côté, le courant de chasse, n'étant



plus guidé à l'extrémité de la jetée la plus courte, agit moins efficacement pour combattre les atterrissements.

Il importe donc de voir, dans chaque cas, jusqu'à quel point l'avantage qui résulte, sous le rapport nautique, des jetées de longueur inégale, peut l'emporter sur l'inconvénient que nous venons de signaler.

En ce qui concerne la seconde question, remarquons d'abord, qu'avec des jetées divergentes, l'accès du chenal paraît devoir être plus facile, d'autant plus que les brisants qui se produisent près des musoirs pendant les gros temps, occasionnent moins d'embarras vers le milieu de la passe d'entrée; mais en revanche, les lames du large pénètrent plus facilement vers l'intérieur. Ensuite, les courants de chasse, en arrivant à l'extrémité du chenal, s'étendent de part et d'autre suivant la direction des jetées, au lieu de se diriger vers la passe extérieure.

Les jetées convergentes offrent plus de difficulté pour l'entrée des navires, sans grand avantage au point de vue des chasses; celles-ci agissent, il est vrai, avec plus d'intensité dans la partie étroite entre les musoirs, mais ils ne combattent pas mieux l'ensablement au delà de ces ouvrages.

C'est le système des jetées parallèles qui paraît, en définitive, le mieux convenir pour les ports comprenant un chenal ordinaire et où les chasses artificielles ou naturelles constituent le principal moyen pour l'entretien de la profondeur dans la passe d'entrée.

La largeur à donner au chenal, entre les jetées, dépend évidemment des dimensions des navires à admettre dans le port et de leur affluence à certaines époques de l'année. Pour les ports de beaucoup d'importance, il faut avoir un chenal, ayant au moins 100 mètres de largeur, et il serait même désirable, au point de vue de la fréquentation des grands steamers transatlantiques, de disposer d'une largeur de 150 à 180 mètres. Mais, en revanche, plus le chenal est large, plus les lames y occasionnent de la houle et plus il est difficile en outre d'y combattre les atterrissements. On doit donc, quand il s'agit de ports de premier ordre, adopter pour le chenal une largeur se rapprochant le plus possible de ces dernières dimensions, mais sans dépasser une certaine limite, au delà de laquelle il deviendrait difficile, par l'adjonction de brise-lames ou d'autres dispositifs, de réduire suffisamment l'agitation dans l'avant port, et aussi de maintenir la profondeur voulue dans la passe d'entrée, eu égard au régime de la côte et aux moyens que l'on peut, pratiquement, mettre en usage à cet effet.

On voit déjà, par ce qui précède, combien le projet d'établissement d'un chenal, à travers des plages basses et sablonneuses, présente des difficultés;



précisément parce qu'il faut tenir compte, d'une part des exigences du marin, pour qui l'approche d'un port et l'entrée dans un goulet étroit, situé tout près de la côte, présente en bien des circonstances de sérieux dangers, et d'autre part, des considérations de l'ingénieur, qui doit se préoccuper surtout de la possibilité de préserver, dans des conditions satisfaisantes et pratiques, les diverses parties du port de l'invasion des alluvions.

## II. — DES MOYENS EN USAGE POUR L'ENTRETIEN DES PROFONDEURS DANS LES PORTS A MARÉE.

Le maintien de la profondeur à l'entrée et à l'intérieur des ports à marée, établis sur des côtes d'alluvion, a été de tout temps une grave question; elle se présente d'une manière assez différente suivant la nature des plages et la disposition des ports que l'on considère.

Nous ne parlerons pas ici des ports soumis au régime du galet et qui n'ont qu'un rapport indirect avec ceux établis sur des côtes de sable; les principaux caractères du mouvement du galet ont d'ailleurs été mentionnés précédemment, et nous en dirons quelques mots encore au chapitre VIII, en parlant de la rade de Douvres.

Dans les ports communiquant avec la mer au moyen d'un chenal creusé à travers une plage sablonneuse, l'atterrissement qui se forme devant la tête des jetées, et que l'on désigne sous le nom de *barre*, est l'un des obstacles les plus sérieux qu'on ait à vaincre pour assurer l'accès facile des navires.

Les causes qui interviennent dans la formation des atterrissements de la barre, sont intimement liées à celles qui déterminent, en général, la marche des alluvions le long des plages. Si l'on se rappelle le mode d'action de ces causes, on conçoit que, lorsque les courants de marée sont entravés dans leur mouvement par les jetées d'un chenal, non seulement ils tendent à accumuler le sable dans les angles extérieurs formés par ces ouvrages avec la dune, mais que les courants en retour, auxquels ils donnent lieu le long de chaque jetée, entraînent aussi en partie le sable soulevé; en arrivant aux musoirs, dans des eaux de plus en plus profondes, ils viennent rencontrer les courants côtiers qui circulent devant le port, et donnent lieu à des remous occasionnant nécessairement des dépôts de sable devant l'entrée du chenal.

L'importance de ces dépôts dépend surtout de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle le sable s'accumule à la partie supérieure des plages, contre les jetées, et, sous ce rapport, les vagues exercent une action prépondérante.



Tant qu'elles se propagent à une certaine distance de la côte, avons-nous vu, elles déplacent, en temps ordinaire, le sable détaché du fond dans le sens de leur propagation; mais quand elles se rapprochent du rivage et que la profondeur d'eau diminue, leur action sur le fond augmente et le sable mis en mouvement est dévié peu à peu, avec les particules d'eau, dans le sens de l'obliquité de la vague par rapport à la ligne de la côte; cette déviation devient de plus en plus prononcée à mesure que les lames montent sur l'estran, et, à l'endroit où elles se brisent définitivement sur le rivage, les sables entraînés ne subissent plus qu'un certain déplacement le long de la côte, soit en un sens, soit en sens opposé, suivant la direction du vent. Dès qu'ils sont arrêtés dans leur mouvement par le chenal d'un port, ils se déposent de part et d'autre de ce dernier, et y provoquent un relèvement de l'estran, lequel tend à gagner l'extrémité des jetées et à contourner les musoirs. L'action directe du vent, chassant devant lui les sables de la partie de la plage qui découvre à marée basse, agit du reste dans le même sens, et accentue encore ce relèvement de l'estran. Et, comme le long de nos côtes, les vents d'aval sont les vents régnants, cet effet se fait plus particulièrement sentir à l'ouest.

Mais c'est par les vents de tempête que les vagues contribuent le plus activement à la formation de la barre; elles balayent alors le sable qui s'était accumulé à la partie supérieure de la plage, et les lames en retour qui les accompagnent, vont porter des quantités plus ou moins considérables du sable enlevé vers les régions situées au delà de la laisse des basses mers et devant la tête des jetées.

Comme les mouvements de sable, résultant de l'influence des vagues, se produisent principalement dans la zone supérieure de l'estran et ne paraissent guère s'étendre au delà des fonds de 8 mètres de profondeur, l'avancement de la plage, provoqué par un ouvrage transversal à la côte, doit être d'autant plus rapide que l'étendue de l'estran découvrant à marée basse, est plus considérable et que l'inclinaison du talus sous-marin qui précède l'estran est faible. Il s'ensuit aussi que, dans chaque cas, le degré de cet avancement diminue progressivement à mesure que les jetées s'étendent vers des profondeurs plus grandes, d'autant plus qu'après chaque déplacement nouveau de la laisse des basses mers vers le large, il y a une plus grande profondeur à remplir et une plus grande longueur de côte à couvrir par la surface triangulaire, suivant laquelle se forme l'accumulation du sable contre la jetée.

Enfin, les vagues attaquent aussi directement les fonds situés devant l'entrée du chenal, surtout quand la profondeur de l'eau y est faible; elles combinent leur



action avec celle des courants de remplissage du port, pour pousser les sables vers la tête des jetées. Les courants d'émission du port agissent en sens contraire, mais ils sont généralement peu intenses, à l'exception de ceux résultant de chasses naturelles ou artificielles.

On voit que l'étendue et la configuration de la barre qui obstrue l'entrée de nos ports, doivent varier avec le régime hydrographique de l'atterrage où ils sont établis, et notamment avec le régime des plages voisines. Ce dernier est déterminé lui-même par les effets séculaires que la marche des alluvions a produits sur la situation primitive du rivage, et qui peuvent, selon les circonstances, avoir amené la côte à un état d'équilibre ou lui faire subir encore des modifications lentes et continues. Or, toutes ces conditions ne diffèrent pas seulement pour des atterrages situés sur des côtes distinctes, mais il en est encore ainsi, le plus souvent, pour des atterrages qui se suivent sur une même côte. La question relative à l'application des moyens à employer pour enlever la barre, ne semble donc pas comporter de solution générale; elle doit, dans chaque cas, faire l'objet d'une étude spéciale.

Avant d'examiner les divers procédés en usage, ou qui ont été proposés pour combattre l'ensablement des ports à marée, on peut se demander s'il ne serait pas possible de transformer ceux-ci entièrement, soit en leur donnant une étendue assez considérable, pour que la passe d'entrée se trouve reportée en dehors de la zone littorale où l'action de la lame se fait plus particulièrement sentir, et à une distance telle qu'il n'y ait plus lieu de se préoccuper de l'avancement de la plage dans les angles extérieurs formés par les jetées avec la dune; soit en créant à une certaine distance du rivage, une enceinte abritée, au moyen de môles convenablement disposés ou de toute autre manière.

Ce serait là sans doute une solution du problème, s'il n'existait à côté de l'ensablement un autre phénomène non moins redoutable : celui de *l'envasement intérieur*. Sur des côtes d'alluvions, comme la côte des Flandres, où les eaux de la mer tiennent constamment de fortes quantités de matières en suspension, l'envasement intérieur des ports et, en général, de tous les espaces abrités qui sont soustraits plus ou moins complètement à l'agitation des vagues et à l'influence des courants de marée, acquiert des proportions considérables. Dans les ports qui débouchent à la mer par un chenal ordinaire, les vases sont assez facilement enlevées par les chasses; elles n'y causent des embarras sérieux que dans les bassins d'échouage et dans les parties des avant-ports ne possédant aucun mode de curage de ce genre, soit naturel, soit artificiel. Mais il n'en serait plus du tout ainsi, si l'on se trouvait en présence d'une rade établie en pleine mer



au moyen de môles, et reliée au rivage par des estacades en bois ou en fer, ou d'une vaste enceinte, comprise entre deux jetées s'avancant vers le large jusque dans les grands fonds; c'est ce que nous verrons au chapitre VIII, où il est particulièrement question de l'envasement des ports conçus d'après ce système.

Ajoutons que le long de la côte des Flandres, dont il s'agit spécialement dans cet écrit, il se présente une troisième difficulté qui s'oppose à la réalisation des projets que l'on pourrait concevoir pour construire des ports s'avancant jusque dans les grandes profondeurs. Elle résulte de la configuration même des fonds sous-marins et de l'influence exercée sur ces derniers par les courants de marée; car il est certain que la déviation qui serait imprimée à ces courants par des constructions établies normalement au rivage et à une forte distance de la dune, modifierait plus ou moins profondément leur mode de propagation et pourrait, par conséquent, compromettre la conservation des passes d'accès fréquentées par les navires, éventualité très-grave, puisqu'elle serait irrémédiable.

Dans un ordre d'idées un peu différent, on pourrait vouloir poursuivre l'amélioration des rades de Nieuport et d'Ostende, en les abritant autant que possible contre les vents du large.

Pour ce qui est de la première de ces rades, l'endiguement du Smalbank, à l'aide d'un breakwater, établi depuis le méridien passant par l'entrée du canal de Zuydcote jusqu'à une certaine distance du canal du Nord, paraît de nature à atteindre ce but. Les navires, se trouvant à l'abri de semblable môle, seraient préservés des vents du nord au N.O., ce qui constituerait sans doute un avantage précieux; nous sommes d'ailleurs porté à croire, en voyant le gisement de la rade, que l'endiguement partiel du Smalbank, convenablement disposé, n'influerait pas sur le régime des courants au point de produire des effets nuisibles pour la situation des fonds avoisinants. Mais, sans approfondir cette question, nous devons faire remarquer que le breakwater à construire exigerait une dépense énorme, hors de proportion avec son utilité; car la rade de Nieuport, située au milieu des bancs des Flandres, ne semble pas se prêter à devenir jamais une vraie rade de refuge, pareille rade ne pouvant exister qu'à la condition d'offrir un accès sûr et facile pour les navires qui fuient devant les gros temps, et viennent y chercher un abri. Et n'est-il pas préférable dès lors de concentrer les efforts en vue d'augmenter la profondeur du port, de façon que la durée de stationnement des grands bâtiments en rade ne doive excéder, à aucune marée, l'intervalle qui sépare leur arrivée de la haute mer suivante.

Devant Ostende, la situation hydrographique des fonds sous-marins est bien moins favorable encore, à cause du régime du Stroombank. M. Helin, Lieutenant



de vaisseau de première classe, a cependant proposé, dans une brochure récente <sup>(1)</sup>, d'endiguer ce banc pour améliorer la petite rade d'Ostende. Nous parlerons de ce projet dans un des chapitres suivants.

Revenons à la question de l'ensablement des ports et aux moyens en usage pour le combattre.

Quelques ingénieurs ont cherché à disposer les jetées de manière à préserver l'entrée du port de l'action directe des lames et des courants. Citons, comme exemple, le projet présenté en 1859 par M. A. Caland, Ingénieur en Chef du Waterstaat, pour la construction d'un port à Scheveningue <sup>(2)</sup>, à l'aide de deux grandes jetées à claire-voie avec coffrage. La jetée ouest est recourbée à son extrémité (Pl. XVII, fig. 2); elle couvre l'entrée contre les vents du large, depuis l'ouest jusqu'au nord, et la soustrait en même temps à l'envahissement direct des courants de flot, qui, sur la côte néerlandaise, sont notablement plus intenses que les courants de jusan. Dans ce projet, qui n'a pas reçu d'exécution, les dispositions proposées ne semblent pas favorables au point de vue nautique, et elles ne seraient dans tous les cas pas à conseiller sur la côte de Belgique. Les vitesses respectives des courants de flot et de jusan y diffèrent en effet assez peu l'une de l'autre, de sorte que, sous le rapport des atterrissements à provenir de l'action des courants, il n'y aurait pas d'avantage à abriter les ports contre l'entrée directe du flot plutôt que contre celle du jusan. Puis, nous ne croyons pas qu'une orientation particulière donnée à la partie extrême des jetées, puisse préserver l'entrée du chenal des atterrissements; car, si l'on se trouve sur une côte où les transports de sable sont abondants, ceux-ci n'en provoqueraient pas moins, au bout d'un certain temps, un relèvement de la plage dans les angles extérieurs formés par les jetées avec la dune; et ces sables, de même que ceux de l'estran attenant, seraient entraînés par les courants et par les vagues de gros temps jusqu'à la partie inférieure des jetées, dont ils contourneraient aussi le tronçon recourbé.

Pour empêcher que les lames, par leur action sur les fonds situés devant le port, n'amènent les sables vers la partie supérieure des plages et ne viennent encombrer l'embouchure des ports et des rivières, M. Knapp, ingénieur civil à New-York, a proposé de les arrêter au large au moyen d'une digue sous-marine, placée dans les profondeurs de 15 à 18 mètres et en saillie de 6 à 9 mètres sur le sol naturel, de manière à conserver sur la crête une nappe d'eau en rapport avec le tirant des navires que l'on veut admettre dans le port.

<sup>(1)</sup> Helin. *Les ports du littoral de la Belgique.*

<sup>(2)</sup> A. Caland. *Ontwerp voor eene zeehaven te Scheveningen.*



On remarquera qu'un barrage de ce genre serait impraticable dans bien des cas, et notamment sur le littoral des Flandres, où les fonds de 15 à 18 mètres se trouvent à une grande distance du rivage et sont séparés de ce dernier par des bancs et des passes de profondeur très-inégale. A part cette circonstance, il est à noter que l'endiguement devrait avoir une longueur considérable pour couvrir suffisamment le chenal d'un port, établi sur une côte ouverte à tous les vents du large, et que l'entrée resterait toujours exposée à l'action des courants, ainsi qu'à l'agitation qui se propagerait latéralement et des deux côtés, entre les extrémités du barrage et la côte; or, les sables des estrans donnent lieu à des transports beaucoup plus importants que ceux provenant directement des fonds du large.

M. A. Cialdi, Officier de la Marine italienne, a recommandé pour le port-chenal de Pesaro, sur la mer Adriatique, et pour celui de Port-Saïd, un dispositif particulier de môles, ayant pour but de produire un effet de curage à l'entrée, en utilisant la puissance de transport que les vagues possèdent lorsqu'elles approchent du rivage et qu'elles viennent heurter le fond. <sup>(1)</sup>

Cet officier admet que le mouvement de transport, produit par les vagues dans la zone attenante à la côte, se communique à toute la masse ondoïtante dès que le développement inférieur de l'onde rencontre quelque obstacle. Il désigne sous le nom de *flot-courant à terre*, ou *de la surface*, le mouvement de transport de la partie supérieure de l'onde et sous le nom de *flot-courant du fond*, celui de la partie inférieure. Dans son opinion, ces deux mouvements peuvent avoir la même force là où la lame se brise à la surface, mais le second est ordinairement plus accentué, si ce n'est près du rivage, où le transport le plus actif a lieu à la partie supérieure.

M. Cialdi croit qu'il est possible de diriger les vagues devant les ports, de manière à ce que les flots-courants, au lieu d'y occasionner des ensablements nuisibles, y produisent au contraire des érosions.

Il propose à cet effet de disposer le chenal de telle sorte, qu'à l'entrée, son axe soit perpendiculaire à la bissectrice de l'angle que font entre elles la direction des vents les plus violents et celle des vents les plus fréquents; de construire, devant la tête des jetées, deux digues destinées à recueillir les vagues formées sous l'influence de ces vents et les conduire transversalement devant le chenal, pour qu'elles y balayent constamment le fond à l'endroit où la barre menace de se former.

<sup>(1)</sup> A. Cialdi. *Les ports-chenaux et Port-Saïd.*



La fig. 3, pl. XVII représente le projet de M. Cialdi, proposé pour le chenal de Port-Saïd et appliqué à l'état des travaux en 1866. La longueur de la jetée de l'ouest étant fixée à 2600 mètres et celle de l'est à 1900 mètres, une digue isolée aurait dû être construite en prolongement de la première de ces jetées et à une distance de 400 mètres de son extrémité; un second môle devait s'avancer transversalement à l'axe du chenal, soit à peu près parallèlement au gisement de la côte. C'est contre ce dernier môle que les lames soulevées par les vents du N.N.O. au nord, qui sont les plus nuisibles pour les atterrissements de la plage de Port-Saïd, seraient venues se réfléchir; les lames réfléchies, en se concentrant avec les lames directes dans l'espace compris entre ce môle et la digue isolée, auraient dû entraîner les dépôts qui tendent à se former devant l'entrée du chenal, pendant que le môle isolé devait empêcher les vagues de se propager vers la tête des jetées. La fig. 4 indique les mêmes dispositions, proposées pour Port-Saïd, dans la situation que les jetées présentaient en 1870.

Le système de M. Cialdi a rencontré certaines adhésions, mais il a soulevé aussi de nombreuses critiques, dont voici les principales: il est à craindre que les vagues, en s'épanouissant à la sortie de l'entonnoir formé par le môle transversal et la digue isolée, ne laissent déposer les matériaux les plus pesants qu'elles entraîneraient à l'entrée du chenal, à l'abri de la jetée au vent; et, si l'on admet que le flot-courant puisse avoir assez de force devant le port pour balayer les atterrissements, il créerait d'autre part un sérieux inconvénient pour la navigation; les bâtiments qui tenteraient l'entrée par les vents régnants, seraient exposés à la manquer, étant pris de flanc et portés sous le vent par les vagues, rendues plus puissantes par leur concentration.

Semblable disposition ne serait pas à essayer sur la côte de Belgique, à cause de la configuration de l'estran sous-marin d'abord, et ensuite parce que les vents y sont trop variables; de plus les courants de marée y ont beaucoup d'intensité, ce qui aggraverait encore les inconvénients du système, au point de vue nautique.

En somme, les divers moyens qui ont été imaginés pour éviter la formation de la barre, soit en disposant l'entrée du port d'une manière particulière par rapport à la direction des vents régnants et des courants, soit en y construisant des môles destinés à la préserver des effets nuisibles des lames, sont restés à l'état de théorie et ils ne sauraient dans tous les cas convenir pour les ports dont nous avons à nous occuper.

Les procédés en usage sur les côtes de la Manche et de la partie méridionale de la mer du Nord, pour combattre les atterrissements à l'entrée des



chenaux, consistent : 1° dans le prolongement des jetées ; 2° dans l'emploi des chasses et 3° dans le dragage.

Le prolongement des jetées vers les parties plus profondes de l'estran sous-marin est d'ordinaire plus efficace quand il s'agit de préserver l'entrée des ports du galet, à cause du mode de transport propre à cette alluvion ; mais il peut cependant conduire à de bons résultats lorsqu'on se trouve en présence d'une plage sablonneuse où, par suite du régime de la côte, les mouvements de sables ne sont pas abondants. Cette condition est indispensable ; sans cela, le sable s'accumulerait rapidement contre les jetées, et la laisse des basses mers avancerait vers le large en suivant le prolongement de ces ouvrages ; il est à remarquer d'autre part, que les jetées ne peuvent être prolongées au delà de certaines limites, puisqu'un chenal relativement étroit et qui aurait trop de longueur, ne répondrait plus aux exigences de la navigation. Nous aurons l'occasion de revenir sur cette importante question au chapitre VII, où nous parlerons en même temps de l'avantage qu'il peut y avoir, pour certains ports, à réduire la largeur de la partie supérieure des plages, situées des deux côtés du chenal, au moyen de digues en saillie sur la ligne des dunes.

Le système des chasses consiste à détacher les matières de la barre et à les rejeter, par des courants artificiels plus ou moins énergiques, vers le large, pour être ensuite reprises, en tout ou en partie, par les courants côtiers. Dans quelques cas on dispose des chasses naturelles résultant de l'évacuation des eaux du pays.

Pour créer des chasses artificielles, on a recours à des réservoirs spéciaux se remplissant à la marée montante, et que l'on ferme dès que la mer commence à baisser ; on laisse écouler le volume d'eau emmagasiné au moment de la marée basse et l'on obtient ainsi un courant descendant, qui agit sur la vase et les sables déposés dans le chenal et dans la passe extérieure. La force érosive de ce courant et la distance à laquelle les matières détachées sont rejetées en mer, dépendent évidemment, toutes choses égales d'ailleurs, de la masse et de la vitesse des eaux lancées, de sorte que, pour augmenter les effets à obtenir, on doit chercher à créer des bassins de retenue d'une grande superficie, à rapprocher convenablement les écluses de chasse de l'entrée du chenal et à écouler le cube d'eau disponible dans un temps très-court.

Pendant les chasses, l'intensité des courants décroît rapidement à mesure que le niveau des eaux du bassin s'abaisse, et il n'y a que la tranche supérieure de celles-ci, dont l'emploi soit réellement utile. Les chasses ne sont donc efficaces que dans les ports où la marée présente une amplitude suffisante. Elles constituent, dans ce cas, le meilleur moyen pour *entretenir* la profondeur à l'intérieur



du chenal, en y refoulant régulièrement les vases et les vases sableuses apportées par la marée; celles-ci se mélangent facilement à la masse des eaux et aussitôt qu'elles ont dépassé la tête des jetées, elles sont entraînées par l'action des courants et des vagues.

Dans la passe extérieure, les courants de chasse, en s'épanouissant, perdent notablement de leur force d'érosion, surtout quand le matelas d'eau atteint déjà une certaine épaisseur; à moins donc d'avoir une très-grande puissance, ils n'entraînent pas, à une assez grande distance, les sables lourds détachés de la barre et ne leur font subir que de simples déplacements. Les chasses ne peuvent du reste produire de bons effets dans la passe extérieure que quand il s'agit d'attaquer des sables fraîchement apportés et qui n'ont pas eu le temps de se tasser en couche plus ou moins compacte.

Sur la côte des Flandres, où l'amplitude des marées moyennes de vive eau varie, dans les différents ports, de 4<sup>m</sup>,60 à 6<sup>m</sup>,00 environ, la tranche d'eau réellement utile dans les chasses n'a pas plus de 2<sup>m</sup>,00 à 3<sup>m</sup>,00 d'épaisseur. On y détermine d'ordinaire la largeur des pertuis de façon que la durée d'une chasse ne dépasse pas 3/4 d'heure, en ayant soin de s'assurer en outre que les courants de remplissage à l'entrée ne soient animés, à aucun instant] de la marée, d'une vitesse telle qu'elle puisse être nuisible à la bonne conservation des ouvrages.

Une règle qui a été suivie dans l'établissement de la plupart des écluses de chasse, consiste à placer le radier à une petite hauteur au-dessus du niveau des plus basses mers, ce qui permet de visiter facilement cette partie de l'ouvrage et d'y apporter les réparations nécessaires en cas d'avaries. Mais cette disposition présente un grave inconvénient: les tourbillonnements occasionnés en aval des pertuis par la chute des eaux, sont considérables et absorbent inutilement une grande partie de la force vive destinée à l'approfondissement du chenal et de la barre. Il y a évidemment avantage à descendre le radier de l'écluse et à le placer le plus près possible de la cote à laquelle on veut maintenir l'entrée du port, puisqu'on augmente ainsi la vitesse horizontale et le débit des tranches d'eau, lancées dans le chenal pendant les chasses. Cela n'empêchera pas de procéder à la visite du radier sans de grandes difficultés, si l'on a soin de ménager à l'amont et à l'aval des culées et des piles une double rainure pour poutrelles, permettant la construction de batardeaux et la mise à sec des pertuis. Notons d'ailleurs que les écluses de chasse doivent être construites avec beaucoup de solidité, de manière à y prévenir les accidents ou des dégradations fréquentes. On les garantit à cet effet au moyen d'avant et d'arrière-radiers suffisamment étendus et comprenant des coffres profonds.



Quant à la forme en plan à donner au bassin de retenue, elle ne présente en réalité qu'une importance secondaire, et est le plus souvent commandée par les circonstances locales. Il faut chercher cependant, lorsque la situation le permet, à se rapprocher de la forme pour laquelle, à surface égale, les molécules les plus éloignées arrivent le plus vite et simultanément à l'écluse; celle d'un secteur, dont le centre serait à peu près au débouché des chasses, convient le mieux sous ce rapport. Le fond du bassin ne doit être creusé d'ailleurs que jusqu'à la cote qui correspond à la limite inférieure de la tranche d'eau utile dans les chasses, sauf à se raccorder dans sa partie aval, suivant une pente douce et régulière, avec le radier de l'écluse.

On doit enfin choisir autant que possible, pour le bassin et pour l'écluse, les dispositions au moyen desquelles le courant des chasses est conduit, sans déviations ni tourbillons, jusqu'aux atterrissements à enlever.

Comme dans la plupart des ports, la profondeur des bassins à flot est réglée d'après le niveau des hautes mers de morte eau, on utilise, pendant les marées de vive eau, la tranche supplémentaire pour curer l'avant-port ou les chenaux d'accès des écluses de navigation. Ces chasses s'opèrent, soit par les vannes des portes de ces écluses, soit par des aqueducs spéciaux ménagés dans les bajoyers.

Lorsqu'on dispose de plusieurs étages de chasses, échelonnés sur la longueur de l'avant-port et du chenal, il convient, pour bien combiner leur action, de commencer par ouvrir les pertuis de l'étage situé le plus en amont, et de faire fonctionner ensuite et successivement les étages suivants, après que les eaux du bassin amont se soient propagées jusqu'aux écluses correspondant à ces étages. On empêche ainsi les eaux qui s'échappent au moment de l'ouverture des pertuis d'aval, de remonter vers l'avant-port et d'y dépenser une partie de leur force à produire des remous.

Une circonstance qui, sur nos côtes, contrarie dans certains cas l'effet des chasses, c'est qu'une partie des vases rejetées du chenal à marée basse, sont ramenées pendant le flot sur la plage à l'ouest du port et y font acquérir aux atterrissements sablonneux, longeant de ce côté la passe d'entrée, un degré d'agglutination plus ou moins prononcé qui rend leur enlèvement fort difficile. Les chasses naturelles résultant des écoulements d'eau douce, sont très-nuisibles sous ce rapport; ceux-ci s'effectuent moyennement dans les ports de la côte des Flandres pendant les trois heures qui précèdent et les deux heures qui suivent la basse mer; les matières limoneuses contenues dans les eaux d'évacuation, sont emportées par le courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, vers la région de l'ouest et, comme ce courant s'incline ensuite lentement vers



la côte à mesure que son intensité diminue, et qu'en même temps le niveau de la mer monte sur le rivage, les vases en suspension forment des dépôts sur la plage de l'ouest pendant l'étale de jusant et la première période du flot, et y rendent le sable plus agrégé. Ce fait, joint aux effets du régime des courants, est cause que la passe extérieure tend à dévier vers l'est. Il se produit principalement aux endroits où l'estran n'a qu'une faible déclivité et où la côte est précédée de bancs élevés, parallèles au rivage; car les eaux, en déferlant sur une plage à pente douce, abandonnent plus facilement les matières qu'elles tiennent en suspension, et celles qui se sont déposées, y sont moins vite enlevées par la houle, pendant que les bancs maintiennent mieux le transport des vases dans la zone attenante à la terre.

Dans le but de redresser la passe extérieure et d'étendre aussi l'action des chasses plus loin en mer, on a cherché à guider le courant, suivant la direction du chenal, jusqu'à une certaine distance au delà de l'entrée, soit au moyen de digues submersibles très-basses, établies en continuation des jetées, soit au moyen de guideaux destinés à prolonger celles-ci momentanément pendant les chasses.

Les digues basses ne sont guère à conseiller, car elles constituent de véritables écueils pour la navigation.

L'emploi de guideaux a été mis en pratique avec succès à Dunkerque. Le matériel employé se composait de 30 guideaux de 10 mètres chacun, formant ensemble une espèce de jetée mobile de 300 mètres de longueur, échouée à basse mer en prolongement de la jetée de l'est, immédiatement avant la chasse, et susceptible d'être enlevée à mi-marée montante, vers le moment de l'étale des courants de marée.

Ces engins sont décrits en détail dans les notices de l'exposition universelle de 1867, desquelles nous extrayons les passages suivants :

« Chaque guideau est formé de cinq longrines de 10 mètres de longueur et de 0<sup>m</sup>,30 sur 0<sup>m</sup>,30 d'équarrissage, réunies par dix cours de moises en travers, dont cinq armées de sabots en fer à leurs extrémités inférieures.

« Un bordage jointif en madriers de 0<sup>m</sup>,04 d'épaisseur moyenne est solidement cloué et chevillé sur les moises supérieures.

« Toutes les pièces de bois et madriers indiqués ci-dessus sont en sapin.

« Au droit de l'une des longrines supérieures règne une autre pièce de bois parallèle à cette longrine, en saillie sur le bordage, reposant sur les moises supérieures correspondantes et délardée par intervalles, pour recevoir les abouts du plancher de manœuvre.

« Au droit de la longrine inférieure règne de même une pièce parallèle



formant bordage et reposant aux assemblages sur les extrémités des moises supérieures correspondantes.

« Au droit de la longrine supérieure extrême, et seulement au droit de l'ouverture existant à chaque paire de doubles moises en travers accouplées deux à deux, sont établis des blochets, reposant avec assemblages sur les extrémités des moises supérieures correspondantes, en saillie sur le bordage général et limitant, avec l'une des pièces ci-dessus, les intervalles correspondant aux béquilles d'échouage.

« Des ouvertures carrées de 0<sup>m</sup>,40 de côté se trouvent ménagées entre les deux longrines supérieures extrêmes et les paires de moises accouplées mentionnées plus haut; ces trous sont destinés à laisser passer les béquilles d'échouage, composées de pièces de bois de 7 à 8 mètres de longueur et de 0<sup>m</sup>,30 sur 0<sup>m</sup>,30 d'équarrissage.

« Au droit de chaque béquille se trouve installée à demeure une petite chèvre avec treuil et manivelles, destinée, d'une part, à faire plonger les béquilles à la profondeur convenable, au moyen de tire-fonds, poulies coupées, réas et cordages, d'autre part, à soulager graduellement les béquilles à marée montante, pour aider au reflouement du guideau après la chasse.

« Toutes les pièces en charpente composant ces chèvres sont en bois d'orme, renforcées solidement par des équerres et boulons en fer.

« Lorsque le temps et les marées sont favorables, et que les conditions de la passe en rendent l'emploi opportun, on arme les guideaux, on les amarre ensemble et on les tient parés dans l'avant-port, le long de la jetée de l'ouest, où ils suivent les fluctuations des marées, sans danger pour eux et sans gêne pour les mouvements du port.

« Deux heures avant la basse mer, on opère le déhalage, on les conduit tous ensemble en dehors des jetées et on les oriente en prolongement de la jetée de l'est, au moyen d'ancres et d'aussières convenablement mouillées pour amener cette espèce de jetée flottante dans la position où l'on veut qu'elle s'échoue à basse mer.

« On abaisse les béquilles en forçant sur leurs têtes à l'aide des treuils, et peu à peu, la mer baissant, les guideaux prennent leur position inclinée d'échouage; cent-cinquante hommes et quelques canots d'aide sont généralement employés dans les manœuvres d'ensemble.

« Tout le matériel une fois échoué, les hommes quittent les guideaux et remontent sur la jetée par des escaliers ou échelles pratiqués à cet effet sur les faces du musoir.

« Le moment de la basse mer arrive; on ouvre les écluses de chasse à



l'intérieur du port et la masse d'eau gonflée, arrivant à la tête des jetées, rencontre d'une part, la jetée basse ainsi momentanément constituée, qui soutient le gonflement sur 300 mètres au delà des jetées fixes, et, d'autre part, les sables de l'ouest, formant paroi attaquant sur la rive gauche. Cet estran envahissant se trouve ainsi fortement corrodé, et, dans une seule marée, on le voit reculer dans l'ouest et la passe se redresser en s'élargissant brusquement d'une étendue que le régime naturel des apports ne peut regagner qu'en plusieurs mois.

« Après la fin de la chasse, quand la mer commence à remonter, les ouvriers retournent à leurs postes, chaque escouade soulageant peu à peu les béquilles du guideau qu'elle monte, toute la flotte se retrouve bientôt à flot; l'on évite ainsi d'attendre que la marée soit assez haute pour que ce renflouement s'opère tout à fait spontanément, parce que cette opération spontanée se faisant quelquefois trop brusquement, ou plus brusquement sur certaines parties que sur d'autres, il en résulterait infailliblement des ruptures de béquilles ou d'amarrages et, par suite, des chances de pertes d'hommes et de matériel.

« On rentre alors au halage cette longue masse flottante dans l'avant-port, le long de la jetée de l'ouest, où elle passe le temps de la belle saison, toujours armée et prête à fonctionner à tous instants favorables et opportuns. »

La description qui précède fait voir que l'emploi de guideaux de ce genre ne peut avoir lieu que par une mer tout à fait calme et qu'il exige d'ailleurs des manœuvres fort difficiles; mais ce système convenait tout particulièrement au chenal de Dunkerque, où les sables très-abondants de la plage de l'ouest rejettent constamment la passe extérieure aux jetées vers la rive opposée et où les dépôts vaseux interviennent tout particulièrement pour augmenter encore cette déviation. Celle-ci y est extrêmement fâcheuse pour l'entrée des navires qui viennent toujours de l'ouest, tant à cause de la disposition des bancs, que du régime des courants de cet atterrage.

Les guideaux ont été employés à Dunkerque pendant une dizaine d'années; ils ne fonctionnaient en moyenne que 5 à 6 fois par an et donnaient cependant de bons résultats. Mais tels qu'ils étaient construits, ils ne pouvaient servir que pour une profondeur d'eau de 1<sup>m</sup>,00 environ; aujourd'hui que cette profondeur est devenue insuffisante, on les a abandonnés pour opérer le redressement de la passe par le dragage.

L'ouvrage de M. Sganzin indique un autre moyen pour attaquer directement les atterrissements de la barre par l'action de l'eau. Il consiste à échouer et à amarrer fortement, à basse mer et à une petite distance en amont des zones à désobstruer, une ou plusieurs grandes citernes flottantes ou réservoirs amovibles



avec parois en bois ou en métal. Ces réservoirs, remplis à marée haute, laisseraient échapper l'eau à la marée basse suivante et permettraient de diriger les courants dans le sens le plus convenable, de manière à utiliser complètement la force vive motrice des molécules liquides. Ce moyen, que nous sachions, n'a jamais été essayé, sans doute à cause des grandes difficultés que présenteraient l'échouage et la manœuvre de pareils réservoirs et des entraves qui en résulteraient pour le passage des navires.

Une des principales causes qui contrariaient l'effet des chasses, est la cohésion du sol. Les sables qui se déposent devant la tête des jetées s'y tassent peu à peu, et forment, au bout d'un certain temps, des couches plus résistantes et plus difficiles à remuer que les dépôts nouvellement apportés.

Quelques essais ont été tentés pour désagréger le sol de la barre et pour augmenter par conséquent l'effet d'érosion des courants de chasse. A Calais notamment, on a eu recours à des hersees que l'on faisait mouvoir sur la barre pendant les chasses; mais ce moyen, qui n'est pas sans offrir de grandes difficultés en pratique, ne paraît pas avoir donné de résultats satisfaisants.

Un autre système a été proposé par M. Bergeron. Voici en quels termes M. Stœcklin, Ingénieur en Chef et M. Laroche, Ingénieur des Ponts et Chaussées, en font mention dans leur ouvrage intitulé : *Des ports maritimes considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leurs profondeurs* :

« Ce système consiste essentiellement, à placer au droit de la barre, dans le prolongement du chenal, des tuyaux percés de trous, par lesquels on puisse lancer des jets d'eau. M. Bergeron pense, que le sable mis en mouvement par ces jets d'eau, doit être plus facilement emporté par les courants, qu'il se formera au-dessus de ces tuyaux un fossé et qu'en multipliant le nombre de ces tuyaux, on pourra donner au fossé toute la largeur du chenal.

« Divers modes d'exécution avaient été préconisés; M. Bergeron croyait préférable de placer les trous des conduites dans le secteur hexagonal inférieur. Quelques ingénieurs anglais avaient exprimé l'idée de placer les trous à la partie supérieure des tuyaux, et de mettre ces tuyaux en place dans le fond d'une tranchée que l'on creuserait artificiellement, jusqu'à la profondeur définitive que l'on voudrait atteindre.

« On a fait récemment à Boulogne un premier essai de ce système, sous la direction de M. Bergeron ou de ses représentants.

« Une expérience complète, décisive, eût exigé que l'on se plaçât dans les conditions naturelles, et par conséquent que l'on installât, soit à Boulogne, soit à



Calais, un réseau de tuyaux sous la barre, et de fortes machines sur les musoirs des jetées. Mais outre les difficultés et les dépenses considérables auxquelles auraient donné lieu ces installations, il eût été presque impossible de se rendre un compte exact des effets par de simples sondages, puisque dans aucun de ces deux ports, le banc de la barre ne découvre à marée basse. On a donc fait les essais sur le banc qui se trouve à la suite du musoir de la jetée sud-ouest de Boulogne. Si, par ce moyen, on ne pouvait apprécier exactement l'importance des résultats à obtenir dans la pratique, on pouvait du moins étudier la façon dont se comporterait cet outillage nouveau, et apprécier la force qu'exigerait son fonctionnement.

« Ces essais n'ont pas donné des résultats favorables et ont révélé de nombreux inconvénients: 1° quand on plaçait les trous en dessus, les tuyaux se remplissaient de sable, et perdaient toute leur efficacité; quand les trous étaient placés en dessous, le sable pénétrait encore dans les tuyaux, bien qu'en moindre quantité; 2° les trous se bouchaient en grand nombre par les coquillages et les graviers; 3° les tuyaux reposaient bientôt sur un lit de galets, et ne produisaient plus, d'effet, dès que les jets d'eau avaient fonctionné quelque temps, et trié le sable assez peu uniforme de la plage; 4° le sable, un instant soulevé par les jets d'eau, retombait bientôt après et formait des bourrelets à très-faible distance des tuyaux; 5° enfin les premiers trous, qui reçoivent plus directement l'effet de la machine, après avoir fait sous les tuyaux d'amont une fosse, y lançaient ensuite leurs jets d'eau en toute liberté et sans profit, et ne laissaient plus, pour les trous placés à l'aval, des jets d'eau assez forts pour chasser le sable. »

Des expériences conçues dans le même ordre d'idées ont été faites récemment sur la barre de Nieuport.

L'appareil employé consiste en un bateau à hélice, portant à l'arrière un cadre en fer muni d'un rateau en acier, le long duquel on peut lancer des jets d'air comprimé.

Le bateau a 20 mètres de longueur, 4<sup>m</sup>,80 de largeur et 2<sup>m</sup>,40 de tirant d'eau; la machine a 30 chevaux de force. Le cadre est suspendu à un bâti en fer formé de deux longerons, établis parallèlement à l'axe du bateau et dépassant l'étambot d'environ 3<sup>m</sup>,00. Ces longerons sont réunis au moyen d'entre-toises; ils portent chacun deux poulies, qui reçoivent des chaînes fixées d'un côté aux traverses du cadre, et s'enroulent, à l'autre extrémité, sur des treuils placés sur le pont du bateau. Les traverses du cadre sont espacées de 3<sup>m</sup>,00 et reliées entre elles par deux pièces transversales, distantes de 1<sup>m</sup>,75 d'axe en axe.

Le rateau est attaché aux traverses à 0<sup>m</sup>,50 environ de leur extrémité; il



est formé d'une série de lames en acier, fixées les unes à côté des autres sur une entretoise en fer et situées dans un même plan, incliné à 30°; ces lames ont 0<sup>m</sup>,28 de largeur, 0<sup>m</sup>,10 d'épaisseur à la partie supérieure, et vont en s'amin-  
cissant vers leur arête inférieure, terminée en redans et destinée à pénétrer dans  
le sable.

Lorsque la herse est descendue sur le fond et que les chaînes pendent librement, elle est entraînée avec le bateau à l'aide de deux fers plats, reliés par articulations aux traverses du cadre et réunis latéralement aux flancs du navire par un assemblage à œillet.

Enfin un tuyau en fer, percé sur tout son pourtour de petits trous, est attaché le long de l'arête supérieure des lames du rateau; il communique de chaque côté, par deux tuyaux flexibles, avec un cylindre à air et sert à réaliser des jets d'air comprimé, qui ont pour but de mettre les sables soulevés en suspension dans l'eau, de manière qu'ils puissent être entraînés par l'action naturelle des courants.

Les expériences faites avec cet appareil sur la barre de Nieuport, n'ont pas réussi; il est vrai que la puissance des jets d'air comprimé était fort restreinte; mais on peut prévoir que le système, réalisé sur une échelle plus vaste, ne donnerait pas non plus des résultats favorables. Les sables soulevés ont trop de densité pour rester en suspension dans l'eau pendant un temps suffisamment long et être emportés au large par les courants, malgré l'agitation plus ou moins sensible que l'on pourrait obtenir à l'aide des jets d'air comprimé; les lames du rateau, qui ne pénètrent qu'à quelques centimètres à peine dans le fond, ne produisent en réalité qu'un ameublissement momentané de la couche superficielle, ainsi que des déplacements de sable relativement peu importants et sans effet utile.

En général, les moyens du genre de ceux que nous venons de citer pour ameublir ou entraîner les sables de la barre, n'ont guère réussi jusqu'à présent. Quoique simples en apparence, ils présentent tous, à cause de la nature même des conditions dans lesquelles ils doivent être appliqués, des difficultés d'exécution tellement grandes qu'il semble bien plus simple et surtout plus certain de recourir aux dragages, pour enlever directement les atterrissements qui se forment à l'entrée de nos ports.

Dans quelques cas cependant, ces procédés peuvent recevoir une application fort utile, et conduire à des résultats en rapport avec les frais d'installation coûteux auxquels ils doivent nécessairement donner lieu. Nous en avons un exemple dans les travaux remarquables exécutés à Liverpool par M. l'Ingénieur Lyster.



On sait que les vastes bassins à flot qui s'étendent devant ce port, sur la rive droite de la Mersey, sont fermés au moyen d'écluses à sas ou de mi-marée, débouchant au fond de petits avant-ports en libre communication avec la rivière. (Pl. XVIII). Les courants de flot, en passant au-dessus des bancs de l'embouchure, entraînent beaucoup de sables et de vases, qui envahissent ces avant-ports et menacent d'encombrer les écluses. Pour ce motif, les seuils des buses ont été placés à un niveau peu différent de celui des plus basses mers, de sorte que les grands navires doivent attendre les marées de vive eau, dont l'amplitude moyenne est de 7<sup>m</sup>,90, pour entrer dans les bassins; en morte eau, l'amplitude de la marée n'est que de 6<sup>m</sup>,20.

Dans un port de l'importance de celui de Liverpool, où le moindre retard dans l'arrivée des navires aux quais de déchargement occasionne des pertes considérables au commerce, ce défaut de profondeur aux écluses d'entrée constitue un grave inconvénient; et l'on conçoit qu'on ne recule devant aucun effort pour y obvier.

C'est ainsi que l'avant-port des nouveaux bassins du Canada a été creusé à 10 pieds sous le niveau des basses mers. Il a environ 230 mètres de longueur, 150 mètres de largeur et communique librement avec la Mersey au moyen d'une entrée de forme évasée, de 140 mètres d'ouverture. Pour combattre les apports de vase, M. Lyster, Ingénieur en Chef des travaux, a formé le fond de l'enceinte d'un massif en béton, dans lequel sont engagés une série de tubes cylindriques en fonte, disposés horizontalement et en communication avec l'eau des divers bassins à flot avoisinants. Sur ces conduites sont branchés des tuyaux verticaux qui viennent déboucher au niveau du radier général en béton et par où s'échappent, à marée basse, des jets d'eau puissants, destinés à soulever les dépôts; des aqueducs de chasse, pratiqués dans les murs de quai bordant l'avant-port, servent à établir en même temps des courants énergiques pour rejeter les matières soulevées dans le fleuve.

Ce système de curage fonctionne à presque toutes les marées. En morte eau, l'effet produit est assez faible, à cause de la quantité d'eau fort restreinte qui peut être employée aux chasses; mais en vive eau, la haute mer dépasse de 3 à 4 pieds le niveau de la retenue nécessaire dans les bassins, et ceux-ci peuvent fournir alors un volume d'eau atteignant jusqu'à 1 million de mètres cubes, qui sont lâchés à marée basse sous une pression de plus de vingt pieds.

Comme il était à prévoir, ces travaux ont complètement réussi et aucun dragage ne doit jamais être fait dans l'avant-port des bassins du Canada; mais on voit que les conditions dans lesquelles ils ont été établis, sont bien différentes



de celles que l'on rencontrerait, s'il s'agissait de les appliquer à l'amélioration de la barre existant à l'entrée des ports.

Le principe du hersage, que nous avons cité plus haut, a été mis en pratique sur une assez vaste échelle au creusement des passes du Mississipi.

Les appareils employés sont décrits dans l'ouvrage de M. l'Ingénieur Malézieux sur les Travaux Publics des Etats-Unis d'Amérique. Ils consistent en des espèces de bateaux-herseurs, de deux types différents.

Dans le premier, inventé par le Colonel Long, le bateau porte à l'avant un bâti en charpente, auquel sont fixées une série de cuillers en tôle juxtaposées, qui servent à détacher les sables du fond.

Dans le second, dû au Général Mac Alester, le sable est désagrégué au moyen d'une hélice, dont les bras descendent au-dessous de la coque et qui sert en même temps de propulseur au bateau.

Les deux systèmes ont été combinés sur le bateau-herseur le *Mac Alester*. Ce dernier porte un bâti placé devant l'hélice, auquel est attachée une grande cuiller qu'on laisse descendre un peu au-dessous de la coque, quand le navire est en marche. Le plan de la cuiller peut osciller autour d'un arbre horizontal fixé au bâti, et son inclinaison est réglée à l'aide de deux tirants. Celle-ci est généralement voisine de 45°. La cuiller a 2<sup>m</sup>40 de longueur horizontale, 1<sup>m</sup>48 de hauteur et présente une flèche de 0<sup>m</sup>48. Pendant que le bateau avance, elle détache le sable du fond et l'entraîne dans les parties profondes des passes.

Ces moyens d'ameublir et de creuser le fond des chenaux se rapprochent en réalité beaucoup de l'enlèvement des atterrissements par le dragage.

### III. — DES DRAGAGES ET DE LEUR APPLICATION A L'ENTRETIEN ET A L'APPROFONDISSEMENT DES PORTS.

L'approfondissement des ports par le dragage date de loin; mais depuis l'invention des dragues à vapeur, cette opération a pris une extension de plus en plus considérable. Pour en donner une idée, il nous suffira de citer les travaux d'amélioration de la Tyne et de la Clyde.

La première de ces rivières est formée par la Tyne du Nord et par la Tyne du Sud, qui prennent leur source dans le Cumberland et à la limite de l'Ecosse, pour se réunir près de Hexham; elle passe à New-Castle et se jette dans la mer du Nord à Shields (Pl. XIX). Son bassin offre une richesse minière et industrielle exceptionnelle; depuis New-Castle jusqu'à l'embouchure, les deux rivières sont bordées d'usines et de fabriques, d'une production étonnante.



Par suite de l'élévation de ses sources, la Tyne est sujette à des crues subites et intenses, débitant un volume d'eau considérable; les dépôts que l'on rencontre dans la partie inférieure de la rivière, sont sans doute le résultat de l'accumulation des matériaux charriés depuis des siècles par le cours d'eau.

Au nord de l'embouchure, on rencontre d'abord la roche de Tynemouth, formée par un promontoire de pierres calcaires; puis la pointe de Panarse, où la côte est basse et terminée par des rochers qui s'étendent à près de 400 mètres en mer. Au delà de la pointe de Panarse, la côte est bordée de falaises et il existe, en face de Curry, un petit îlot, le Hartley Bates, situé à 8 mètres environ au-dessus des hautes mers, sur un plateau de roches. Au sud de l'entrée de la rivière, la plage est précédée d'un banc de sable, appelé le Herd sand; la côte y est formée de mornes de sable, sauf à la pointe de Trow, où elle est de pierre calcaire et bordée également de récifs, se terminant à 500 mètres environ au large. L'estran sous-marin, devant Tynemouth, est recouvert de sable et présente une pente assez faible; la vitesse des courants ne paraît pas y excéder 0<sup>m</sup>,50 par seconde.

Les premiers travaux d'amélioration de la Tyne ont été commencés en 1843, d'après le système proposé par M. l'Ingénieur Rennie. Ils consistaient en de nombreux épis, partant de chaque rive et se dirigeant vers l'axe de la rivière, dans le but de resserrer et de régulariser le lit de celle-ci, et d'obtenir ainsi, par l'action même des courants de marée, l'approfondissement de la passe navigable. Plus tard, lorsque les fonds situés entre les épis et que ces derniers avaient soustraits partiellement à l'action des courants et à l'agitation des eaux, s'étaient suffisamment exhausés, on a réuni la tête de ces ouvrages au moyen de perrés en pierres et en scories, de sorte qu'en 1858 déjà, la plus grande partie de la rivière, depuis New-Castle jusqu'à la mer, était endiguée. Ces travaux ont eu un excellent résultat; en 1842, la partie inférieure de la Tyne, n'offrait qu'une passe étroite et sinueuse, comprise entre de nombreux bancs de sable; elle n'était praticable, à marée haute, que pour des navires d'un tirant d'eau ne dépassant pas 4<sup>m</sup>,50, et il n'était pas rare de voir des embarcations de 1<sup>m</sup>,00 à 1<sup>m</sup>,20 d'enfoncement échouer à marée basse. Dès 1860, la profondeur du chenal navigable s'était sensiblement accrue; elle n'était nulle part inférieure, aux hautes mers de vive eau, à 5<sup>m</sup>,40.

Mais ce n'est qu'à partir de 1861 qu'un projet complet fut mis à exécution pour améliorer toute la partie navigable du fleuve, depuis la barre existant à l'embouchure, jusqu'à Wylam, soit sur une distance de 19 <sup>1</sup>/<sub>4</sub> milles. Ce projet, dressé par M. Ure, à cette époque Ingénieur de la Tyne, avait pour principe



de draguer le lit de la rivière, jusqu'à ce que les bancs dangereux en eussent disparu et que la profondeur fût partout suffisante pour permettre la fréquentation des grands navires à toute heure de la marée ; il comprenait en outre la continuation des travaux de construction de deux piers, projetés à l'embouchure par M. Walker et commencés en 1856.

Les dragages furent conduits avec la plus grande activité par M. Ure d'abord, et ensuite par M. Messent, qui lui succéda en 1870 ; le matériel employé se composait de six dragues, dont 3 de 55 chevaux, 10 porteurs à vapeur, 40 porteurs en bois, 8 remorqueurs à vapeur, ainsi que nombre de pontons et d'embarcations. La quantité de vase et de sable, enlevée du lit de la rivière depuis 1860, s'élevait en Septembre 1882 au cube énorme de 60 millions de tonnes ; les déblais ont été transportés en mer et déversés dans les fonds de 20 brasses de profondeur qui se trouvent à une distance de 2 à 3 milles de la côte.

Grâce à ces travaux, les conditions de navigabilité de la Tyne sont aujourd'hui complètement transformées. Avant 1860, la barre à l'embouchure avait une étendue d'environ 250 mètres de l'ouest à l'est, et une passe de 180 mètres de largeur ; le matelas d'eau n'y mesurait que 1<sup>m</sup>,80 d'épaisseur pendant les basses mers de vive eau, ce qui correspondait à une profondeur d'environ 6<sup>m</sup>,30 à marée haute de vive eau et de 5<sup>m</sup>,10 à marée haute de morte eau. En amont de la barre extérieure il y en avait une autre appelée la *barre de 9 pieds*, et à 360 mètres plus loin, à l'endroit connu sous le nom de *Narrows*, le chenal se rétrécissait subitement ; la partie restante de la rivière était parsemée de hauts-fonds, dont quelques-uns asséchaient à marée descendante. Actuellement on trouve à l'entrée de la Tyne 6<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse ; la largeur de l'étranglement des *Narrows* a été portée de 120 à 200 mètres ; les bancs dangereux ont été enlevés devant Shields, où une section de l'ancien chenal, de près de 2500 mètres de longueur, forme le véritable port et où les navires peuvent mouiller par plus de 9<sup>m</sup>,00 d'eau à basse mer de vive eau.

La profondeur minimum est de 6<sup>m</sup>,00 devant New-Castle, et, au delà de ce port, les dragages sont terminés sur une longueur de 2  $\frac{1}{2}$  milles ; il ne reste plus qu'une section de 6  $\frac{1}{4}$  milles à recréuser pour arriver à Wylam.

Quant aux môles construits à l'embouchure, ils partent respectivement de Tynemouthhead et du Herd sand, pour s'avancer vers les fonds de 9<sup>m</sup>,00 sous mer basse ; ils convergent l'un vers l'autre et forment une enceinte dont la largeur, près du rivage, est de plus de 1000 mètres. En Septembre 1882, la partie terminée du môle nord avait 745 mètres de longueur, au delà de laquelle il



existait une partie submergée de 107 mètres; le môle sud avait 1375 mètres de longueur, avec une partie submergée en saillie de 185 mètres. Mais, quoique la barre soit située à l'intérieur de ces ouvrages, les dragages doivent cependant y être interrompus, dès que le vent produit une houle ayant plus de 0<sup>m</sup>,60 à 0<sup>m</sup>,90 de creux, et ce n'est qu'en été et par des temps calmes qu'on peut les exécuter régulièrement.

L'écartement existant entre les parties achevées des môles est d'ailleurs encore fort grand, ce qui est cause que depuis l'amélioration apportée dans les fonds situés près de l'entrée, l'agitation des lames se fait sentir, par les vents d'est surtout, jusque dans le port de Shields et y cause un certain embarras pour les navires à l'ancre. La largeur que M. Walcker avait proposé de laisser définitivement entre les musoirs, était de 330 mètres. MM. Ure et Messent l'ont fixée depuis à 540 mètres, en vue de la navigation et pour tenir compte de l'accroissement considérable du volume des eaux de marée qui entrent dans la rivière, ainsi que de celui qui résultera encore de l'exécution des travaux dans la partie supérieure de la Tyne, accroissements évalués ensemble à 10 600 000 mètres cubes. Or, un naufrage récent leur a démontré qu'il est indispensable que le courant de marée entre les musoirs, quand la rivière est en crue, ne soit pas d'une vitesse telle, qu'en rencontrant les lames du large, il produise une mer trop creuse. Lorsque l'expérience aura prononcé, on pourra d'ailleurs réduire plus ou moins la largeur de la passe, autant que les conditions nécessaires à la navigation le permettent, afin d'entraver suffisamment la propagation des lames vers l'intérieur et de préserver le port de Shields des coups de vent du large.

Les travaux de la Tyne constituent un exemple des plus remarquables des résultats qu'il est possible d'obtenir, dans certaines conditions, par le dragage. On peut du reste espérer, avec raison, qu'il n'y aura pas de difficulté à maintenir les améliorations réalisées; car, si l'on est parvenu à débayer de la rivière, en quelques années, une grande partie des bancs et des hauts-fonds qui s'y étaient accumulés depuis des siècles, c'est une preuve que les dépôts annuels résultant de l'introduction de la marée et de l'écoulement des eaux supérieures, sont relativement peu importants; il ne faudra par conséquent pas de grands efforts pour les maîtriser dans l'avenir, d'autant plus que l'approfondissement et les rectifications, exécutés dans le lit de la rivière, ont facilité notablement la propagation de la vague-marée vers l'intérieur de sorte que les courants de jusant, dont la vitesse atteint jusqu'à 1<sup>m</sup>,50 par seconde, contribueront, par leur action de curage sur le fond, à entretenir la profondeur des passes.

La Tyne, depuis la mer jusqu'en amont de New-Castle, constitue aujourd'hui



un vaste port à marée et le principal port charbonnier de l'Angleterre. Il peut recevoir facilement 2000 navires à la fois, et est bordé sur les deux rives de nombreux docks et embarcadères.

Les travaux d'amélioration de la Clyde ont été commencés à une époque antérieure à ceux de la Tyne; les résultats qu'ils ont donnés ne sont pas moins remarquables.

Cette rivière prend sa source dans le Lanarkshire, passé par les villes de Lanark, d'Hamilton, de Glasgow, de Port-Glasgow et de Greinock. En amont, sur 95 kilomètres de longueur, elle présente de nombreuses chutes et ne devient navigable qu'à partir de Glasgow.

En 1768, il existait en aval de cette ville plusieurs hauts-fonds, où l'on sondait moins de 0<sup>m</sup>,50 d'eau aux basses mers de vive eau ordinaires. En un point situé dans le port actuel de Glasgow, il n'y avait que 1<sup>m</sup>,00 de profondeur aux hautes mers de vive eau, tandis que les marées de morte eau s'y faisaient à peine sentir. Les navires calant 1<sup>m</sup>,37 ne pouvaient dépasser Spoydochsand, situé à 15 kilomètres en aval de Glasgow, qu'en vive eau seulement.

M. Golborne fut chargé, à cette époque, d'étudier un projet pour améliorer la navigation de la Clyde. Il proposa d'enlever les pierres et le gravier compact aux points où le lit de la rivière était dur et peu profond, et de réduire le chenal, dans les endroits où il était trop large, à l'aide d'épis transversaux rattachés à chacune des rives et submersibles à marée haute.

Ces travaux, qui furent entamés aussitôt et continués jusqu'en 1806, produisirent une amélioration notable dans la situation de la Clyde. Mais la passe navigable était fort irrégulière, d'autant plus que les épis avaient été établis sans plan d'ensemble.

Ensuite le courant de flot, en s'étalant dans les espaces compris entre ces ouvrages, était retardé dans sa marche; pendant la montée de la marée, les eaux se déversaient au-dessus des épis et entraînaient les sables soulevés vers les parties les plus larges du chenal, pour y former des dépôts. Devant les épis, la passe était d'ordinaire plus profonde que dans les sections intermédiaires, et les seuls endroits où la rivière offrait une profondeur sensiblement uniforme, étaient ceux où l'on avait construit quelques lignes de digues longitudinales.

Se basant sur ces faits, M. J. Rennie conçut un programme nouveau, consistant à régulariser partout la longueur des épis et à réunir leurs extrémités par des digues, élevées à peu près à hauteur de mi-marée et défendues à l'aide de perrés en pierres sèches; leur espacement était calculé de façon à assurer un écoulement facile pour les eaux de la marée, ainsi que pour celles de la rivière. (1)

(1) Quinette de Rochemont. *Annales des Ponts et Chaussées de France*. Année 1869.



Ces endiguements furent exécutés peu à peu, mais on s'aperçut bientôt que le chenal ainsi formé était trop étroit et que sa profondeur était encore loin de répondre aux besoins commerciaux d'un centre possédant les éléments de prospérité de Glasgow. En 1835, la Clyde présentait 210 mètres de largeur à son embouchure et 41 mètres de largeur à Glasgow; les navires calant plus de 4<sup>m</sup>,00 de profondeur ne pouvaient, en général, remonter la rivière au delà de Greenock.

M. l'Ingénieur Logan proposa alors de recourir aux dragages pour approfondir la passe navigable et pour lui donner plus de largeur, en déplaçant convenablement les digues, et en coupant les points saillants dans tous les endroits où la section était trop rétrécie. C'est la marche qui a été suivie depuis avec autant d'activité que de succès. La quantité de matières enlevées du lit de la rivière, depuis 1844, s'élève à plus de 18 000 000 de mètres cubes; devant Glasgow, le chenal présente actuellement 7<sup>m</sup>,30 de profondeur à marée haute et 137 mètres de largeur; à Dumbarton, la largeur est de 300 mètres.

Quant aux résultats obtenus pour le commerce, disons qu'en 1830 la ville de Glasgow possédait 1300 mètres de quais et que l'importance des navires fréquentant le port, était de 730 000 tonneaux; elle avait une population de 200 000 âmes. En 1870, la longueur des murs de quai était de 5000 mètres et le mouvement du port de 2 000 000 de tonneaux. Aujourd'hui les quais ont un développement de 7500 mètres et le tonnage des navires entrés dans le port, en 1880, était de 2 900 000 tonneaux. La ville compte plus de 600 000 habitants et elle possède les plus grands chantiers de constructions navales de toute l'Angleterre. (¹)

Occupons-nous à présent des divers systèmes de dragues employées de nos jours.

Ils peuvent se rattacher à quatre types principaux : Les dragues à échelle, les dragues à cuiller, les dragues à mâchoires et les dragues à aspiration.

*Dragues à échelle.* — Tout le monde connaît les dragues à échelle; elles comprennent essentiellement une chaîne à godets, placée dans l'axe du bateau, ou deux chaînes latérales. La traction sur les chaînes est exercée par un prisme carré placé en tête d'un bâti et dont l'axe reçoit son mouvement de la machine à vapeur par l'intermédiaire d'une série d'axes et d'engrenages; le prisme inférieur a généralement un ou plusieurs pans de plus que le prisme supérieur, afin d'adoucir le mouvement de la chaîne; celle-ci porte sur une suite de rouleaux en fonte fixés sur l'élinde.

Dans les dragues utilisées aux travaux de la Clyde, l'une des dernières roues

(¹) Horta. *Bulletin de l'association des ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand.* Année 1882.



des engrenages est munie d'un collier de friction, glissant librement dès que la résistance rencontrée par les godets dépasse une certaine limite et destiné à prévenir ainsi les avaries du mécanisme. Celles qui y fonctionnaient au début avaient le prisme supérieur de la chaîne à godets placé en encorbellement sur l'arrière du bateau, de manière à faire tomber les déblais directement dans de petits chalands ou *punts*, de forme rectangulaire et d'une contenance d'un peu plus de 6 mètres cubes. Lorsque les chalands étaient remplis, on les attachait deux par deux et on les disposait en file, en terminant celle-ci, à chaque extrémité, par un ponton triangulaire; le ponton à l'arrière est muni d'un gouvernail, et tout le train ainsi formé était mis en mouvement à l'aide d'un remorqueur.

Ce système donne lieu à une perte de temps assez considérable pour changer les punts, ce qui doit se faire souvent puisque leur capacité est très-faible; de plus, dans la partie inférieure de la rivière, où le courant est intense, ces chalands sont difficiles à diriger et ils sont poussés fortement contre l'arrière du bateau-dragueur. Pour remédier à ces inconvénients, les autres dragues de la Clyde ont été construites pour décharger sur les côtes, et l'on a substitué aux punts, des bateaux-porteurs en fer et à hélice. Ceux-ci comprennent à leur partie centrale une caisse fermée par des vantaux, dont la manœuvre se fait au moyen de chaînes et de treuils fixés à une traverse en fer. Ils contiennent environ 200 mètres cubes de déblai, qu'ils emportent et vont déposer dans les parties profondes de la rivière, au delà de Greenock, à une distance de 27 milles de Glasgow.

La plus forte drague qui ait été employée à la Clyde, est à une seule élinde et peut draguer jusqu'à 8<sup>m</sup>,53 de profondeur; elle a une machine de 75 chevaux et enlève, dans un terrain de vase et de sable, 112 mètres cubes en moyenne par heure; le prix du mètre cube de matière extraite avec cette drague ne dépassait pas 0,25 fr., non compris le transport; ce dernier s'élevait en moyenne, avec les bateaux-porteurs à hélice, à 0,23 fr.

La drague qui sert actuellement à l'entretien du bassin d'échouage et de l'avant-port d'Ostende, est également à une élinde.

Le bateau est en fer; il a 30 mètres de longueur, 7 mètres de largeur et 3<sup>m</sup>,00 de creux. La machine à vapeur a 40 chevaux de force. L'axe du prisme supérieur porte une grande roue dentée, commandée par un pignon, dont l'axe est actionné par un engrenage conique correspondant à un arbre vertical qui descend jusqu'en bas du bateau et est commandé lui-même par un second engrenage conique, calé sur un arbre horizontal. Cet arbre porte deux poulies, recevant leur mouvement, par l'intermédiaire de courroies, de deux autres poulies



montées sur l'axe de la machine. En cas d'arrêt ou de chocs, ces courroies glissent et empêchent les engrenages de casser.

Les godets sont au nombre de 36 ; ils ont une capacité de 220 litres chacun et remontent dans le sable environ 180 litres de déblais. La chaîne se meut avec une vitesse de 18 godets à la minute.

Un treuil à vapeur à deux cylindres sert à manœuvrer l'échelle par l'intermédiaire d'un palan ; un autre treuil à vapeur opère les mouvements du bateau. La vapeur est fournie à ces deux treuils par une chaudière spéciale.

On peut évaluer le rendement de la drague à 100 mètres cubes, en moyenne à l'heure.

A Ostende, le prix du mètre cube de matières draguées revient à 1,88 fr., y compris le déversement dans les chalands et le transport en mer à 2500 mètres de distance.

La drague que nous venons de mentionner, a été employée aussi à l'approfondissement des canaux ; pour ce motif, le prisme supérieur est placé à une assez grande hauteur au-dessus du pont du bateau (7<sup>m</sup>,40), de manière à pouvoir accoupler à l'échelle de longs tuyaux, lesquels permettent le déversement sur les rives, des matières extraites, jusqu'à une distance maximum de 40 mètres.

Citons à ce propos les dragues à tuyaux flottants et où le transport des déblais se fait à l'aide de propulseurs centrifuges.

Celles qui ont fonctionné au nouveau canal d'Amsterdam portent d'un côté un cylindre vertical, recevant les déblais par l'intermédiaire d'un petit couloir. Une pompe centrifuge de 1<sup>m</sup>,066 de diamètre, à deux ailettes et faisant 230 tours à la minute, est fixée horizontalement à la partie inférieure du cylindre. Cette pompe, qui doit toujours se trouver un peu au-dessous de la surface de l'eau, est mise en mouvement par la machine à vapeur de la drague ; pendant que les matières extraites sont déversées dans le cylindre, elle y amène de l'eau par un conduit placé inférieurement dans le prolongement de son axe, et le mélange est lancé avec force dans les tuyaux flottants. Ceux-ci sont formés d'une série de tubes en bois de 0<sup>m</sup>,40 de diamètre, réunis entre eux et à l'emmanchement au moyen de raccords flexibles en cuir, enveloppés de bandes en fer.

La distance horizontale de transport a été portée jusqu'à 275 mètres, avec des berges de 1<sup>m</sup>,50 de hauteur. Le mélange dans les tubes flottants se composait de 40 à 50 p. 100 de matières solides, vase, argile et sable, et de 50 à 60 p. 100 d'eau <sup>(1)</sup>.

Dans les dragues qui ont été employées par MM. Deschaux et Mogniat pour

(1) Croizette Desnoyers. *Notice sur les travaux publics en Hollande.*



le creusement du bassin au bois du port de Gand, le propulseur centrifuge est installé sur un bateau séparé et reçoit son mouvement d'une locomobile spéciale d'une force de 25 chevaux. Quand la hauteur de refoulement atteignait près de 2 mètres, la puissance du propulseur ne suffisait plus pour opérer le transport; il se produisait des engorgements qui interrompaient le fonctionnement de l'appareil et il fallait donc donner une nouvelle impulsion au mélange. Celui-ci fut déversé, à cet effet, dans un bassin placé à l'endroit où le tuyau flottant vient reposer sur la rive, pour être repris par une pompe centrifuge ordinaire, mue par une locomobile de 16 chevaux de force et capable d'élever les déblais à une hauteur de 2<sup>m</sup>,50. Afin d'éviter que des cailloux ou de gros débris ne fussent aspirés en même temps, le bassin était divisé, par une grille verticale, en deux compartiments, dont l'un était destiné à arrêter les corps trop volumineux.

Il n'eût pas été possible d'interposer directement une pompe centrifuge ordinaire sur le tuyau; pareille pompe, qui diffère du propulseur centrifuge à cause du plus grand nombre de ses ailettes et aussi par l'orientation de celles-ci par rapport à l'arrivée de l'eau, ne peut débiter des cailloux ou d'autres corps d'une certaine grosseur. Ceux-ci sont exposés, à leur entrée dans la pompe, à heurter une ailette et à y être arrêtés, de façon à produire des engorgements, alors qu'ils pourraient à la rigueur passer dans la pompe<sup>(1)</sup>.

Le dispositif adopté par MM. Couvreur et Hersent, lors de l'approfondissement du canal de Terneuzen, pour le transport hydraulique des dragages, est un peu différent.

Les matières extraites furent déversées dans un puits vertical fixé à l'un des côtés de la drague, immédiatement sous les godets, pour y être mélangées avec l'eau projetée par une pompe centrifuge. Le mélange pénétrait sous une certaine charge dans un tuyau flottant, attaché à la partie inférieure du puits et composé de tronçons métalliques réunis par des articulations en cuir. A partir de la rive du canal, le tuyau reposait sur le sol. Une pompe centrifuge, posée au milieu du tuyau, activait par aspiration l'écoulement des matières fournies par la drague et les refoulait ensuite à plusieurs mètres de hauteur, pour les déverser à l'air libre, dans un couloir qui se prolongeait jusqu'au lieu de déchargement. On est parvenu ainsi à refouler régulièrement les déblais à environ 1000 mètres de distance.

Remarquons qu'avec cette disposition de l'appareil, on peut placer une grille dans le puits, ce qui permet d'installer directement, sur le tuyau, la pompe centrifuge destinée à aspirer et à élever les déblais.

(1) Lechalas. *Annales des Ponts et Chaussées*. Année 1882.



Dans le système cité plus haut, où le mélange des matières draguées avec l'eau doit se faire entre les ailettes du propulseur, le placement de cette grille est impossible.

Les dragues à échelle conviennent plus spécialement pour les déblais à faire sur de vastes étendues, de résistance peu variable, et situées à l'abri de la houle. Elles ne sauraient être employées à l'enlèvement des atterrissements existant à l'entrée de nos ports ; car la mer, dès qu'elle est quelque peu agitée, occasionne des chocs violents aux élinde par suite de leur connexion rigide avec le bateau, qui les porte. Dès que la levée de la lame atteint plus de 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,30, il devient fort dangereux de travailler avec des dragues à échelle dans une mer ouverte. De plus, ces engins ont besoin d'un ancrage encombrant, et exigeant, à chaque reprise du travail, de longs préparatifs d'installation.

*Dragues à cuiller.* — Ces dragues réalisent, d'une manière très-ingénieuse, le mode d'action de la drague à cuiller à bras au moyen de la vapeur. Elles sont décrites en détail dans une notice fort intéressante sur les divers procédés de dragage employés dans les ports de l'Amérique du Nord, publiée aux annales des Ponts et Chaussées de France, année 1880, par M. l'Ingénieur en Chef Lavoinne, auquel nous empruntons les renseignements qui vont suivre :

Parmi les dragues de ce système, celle connue sous le nom de drague Osgood est une des meilleures ; la coque du bateau porte sur l'avant une grue servant à manœuvrer la cuiller A (Pl. XX, fig. 2) <sup>(1)</sup>. Cette cuiller, de forme cylindrique, est en tôle à tranche acérée et d'une contenance de 1/2 mètre cube à 2 mètres cubes ; le fond en est mobile et s'ouvre au moyen d'un déclanchement. Elle porte latéralement une articulation, par l'intermédiaire de laquelle elle est fixée au manche M ; l'inclinaison de son axe par rapport à celui du manche peut être réglée à volonté par des chaînes de longueur variable. La cuiller est suspendue à un palan à trois brins, à l'aide duquel se fait le levage, et dont la chaîne s'enroule sur deux poulies portées par le sommet de la grue. Celle-ci est composée de deux bras B, B', formant poutre armée et reliés par des entretoises ; une grande roue horizontale R, placée un peu au-dessus du pivot, sert à faire pivoter la grue au moyen d'une chaîne sans fin s'enroulant sur un tambour établi à l'arrière.

Le manche de la cuiller se compose de deux pièces jumelles passant entre les moises qui constituent les bras de la grue ; ces pièces sont munies de crémaillères engrenant avec des pignons, dont l'arbre O repose sur le bras supérieur

<sup>(1)</sup> Les dessins qui, sur la planche XX, représentent des types de dragues américaines, sont reproduits d'après ceux annexés au mémoire de M. Lavoinne.



de la grue et qui reçoit son mouvement d'un autre pignon, placé plus bas, par l'intermédiaire d'une roue à empreintes *r* et d'une chaîne Galle. Ce dernier pignon peut être mis en marche dans un sens ou dans l'autre, ou être arrêté dans une position déterminée, au moyen d'un tourniquet T.

Une chaîne de rappel *t*, s'enroulant sur un treuil spécial X, est attachée à la face inférieure du manche, près de la cuiller. Ce treuil, de même que le treuil de levage, reçoit le mouvement d'un arbre moteur commun Z, au moyen de roues dentées et de pignons calés sur celui-ci et commandés par des manchons d'embrayage; le même arbre moteur porte encore un troisième manchon d'embrayage, qui peut commander l'un ou l'autre de deux nouveaux pignons appartenant à un système d'engrenages coniques; celui-ci fait tourner dans un sens ou en sens contraire le tambour D sur lequel s'enroulent les chaînes de l'appareil de rotation de la roue.

Au moyen de ces divers mécanismes, on règle tous les mouvements à imprimer au manche de la cuiller pour faire descendre cette dernière, enlever et remonter les matières à draguer, et pour vider ensuite la cuiller dans les chalands, en tirant un loquet qui en ferme le fond. Une évolution complète de la cuiller demande environ une minute.

Les machines placées à l'arrière du bateau sont reliées à la coque par de forts sommiers. Elles sont à haute pression et commandent directement l'arbre moteur des treuils de manœuvre. Le bateau est habituellement maintenu en position au moyen de béquilles munies chacune de chaînes de levage et placées une en arrière et deux sur l'avant. Ces béquilles sont manœuvrées au moyen de treuils à la main.

Il existe plusieurs systèmes plus ou moins perfectionnés de la drague à cuiller; ils sont décrits dans le mémoire de M. Lavoinne.

Les dragues appartenant à ce type présentent l'avantage de n'élever les déblais qu'à la hauteur strictement nécessaire. Elles sont d'un usage facile pour le creusement de fouilles de forme irrégulière ou d'un accès difficile par suite du voisinage des navires, puisqu'il n'est pas nécessaire, comme pour les dragues à échelle, d'amener le bateau-dragueur à l'endroit même où il s'agit de draguer, ni de le tenir sur des ancres. Avec ces dragues on peut aussi, en donnant une direction convenable au manche de la cuiller, exercer une pression plus efficace sur le fond, quand les terrains sont difficiles à désagréger. Mais leur action étant discontinue, elles sont d'un emploi moins avantageux que les dragues à échelle, dans tous les cas où l'on a de vastes surfaces, de résistance uniforme, à approfondir.



Pas plus que ces dragues, elles ne sauraient convenir pour travailler à la mer avec de la houle; quand le bateau monte avec la lame, la cuiller se soulève et le mouvement de la machine s'accélère pour ralentir ensuite brusquement au moment où la cuiller touche de nouveau le fond; d'ailleurs le mode de fixation du bateau au moyen de béquilles ne serait pas possible, pas même par une mer faiblement agitée.

*Dragues à mâchoires dites clam shells.* — Le principe de ces dragues est connu depuis longtemps; il consiste à faire pénétrer dans le sol deux cuillers en coquilles, montées sur une même charnière horizontale et de les rapprocher ensuite pour les remonter verticalement avec la matière emprisonnée.

Une des plus anciennes dragues à mâchoires américaines est celle de Morris et Cumings (Pl. XX, fig. 1). Elle se compose principalement d'un cadre vertical, suspendu à une grue installée sur un bateau d'une vingtaine de mètres de longueur et de près de 10 mètres de largeur. Ce cadre porte, à sa partie inférieure, deux arbres parallèles très-rapprochés *a, a'*, autour desquels tournent les deux mâchoires, dont la forme est celle d'un quart de cylindre et qui peuvent se rejoindre par le bas. Un troisième arbre *b*, fixé également sur le cadre, se trouve au-dessus des deux premiers; il porte au milieu une poulie d'un certain diamètre et, vers les extrémités, des poulies plus petites; celles-ci reçoivent des chaînes de rappel, attachées à un arbre mobile *c*, glissant dans des rainures pratiquées dans le cadre, et reliées par des bras articulés aux deux fonds verticaux de la caisse à mâchoires. L'arbre mobile peut être soulevé au moyen d'une chaîne, qui passe sur une poulie portée par la grue et s'enroule sur un premier treuil de levage B; une autre chaîne est attachée par l'une de ses extrémités sur la gorge de la grande poulie de l'arbre fixe, passe sur une autre poulie fixe au sommet de la grue et s'enroule sur un second treuil, dont l'axe est placé sur le prolongement de l'axe du premier. Le cadre est surmonté d'ordinaire de deux perches glissant dans des étriers portés par la flèche de la grue. Elles servent à guider le cadre et facilitent en même temps, par leur poids, l'enfoncement de la caisse A.

Comme pour les dragues à cuiller, le bateau est fixé sur le fond à l'aide de béquilles; on se borne parfois à l'emploi d'une seule béquille placée près de l'arbre de rotation de la grue.

Pour faire fonctionner la drague, on ouvre la caisse en déviant la chaîne de l'arbre fixe *b* et on la laisse descendre sur le fond en déviant simultanément les deux chaînes; les mâchoires, dont les parois inférieures se présentent à peu près verticalement sur le fond à draguer, pénètrent dans le sol sous l'action de leur poids, pendant que l'arbre mobile, par la pression du terrain, remonte



jusqu'au sommet de sa course. Puis on ferme la caisse en virant sur la chaîne de l'arbre fixe, ce qui amène le rapprochement de ce dernier avec l'arbre mobile, par l'intermédiaire des petites chaînes de rappel, et, par suite, la jonction de la partie inférieure de chacune des mâchoires. On continue alors à agir sur la chaîne de la grande poulie, et, comme la traverse mobile est à fond de course, la poulie ne tourne plus et la caisse remonte avec la matière détachée du sol. Lorsque la caisse est arrivée à la hauteur convenable, les deux chaînes se trouvant alors tendues, on imprime un léger excédant de traction à l'une ou à l'autre de ces chaînes, qui vont s'enrouler sur des treuils, placés à une certaine distance de part et d'autre de l'axe de la grue, et l'on amène la caisse au droit d'une gabarre, dans laquelle on la vide en tirant sur la chaîne de l'arbre mobile.

L'appareil dont nous venons d'indiquer les parties essentielles, a reçu de nombreuses modifications, qui diffèrent surtout par la disposition et le mode de fermeture de la caisse à mâchoires et conviennent mieux les unes que les autres, suivant la résistance des terrains à creuser. Les dragues de ce système, comparées aux dragues à échelle ou à cuiller, offrent, en général, l'avantage d'avoir des parties constitutives plus simples, et de produire par là même un plus grand effet utile; elles permettent en outre de travailler à de fortes profondeurs, et se prêtent bien à l'extraction rapide et économique de blocs de toutes dimensions sous l'eau. Mais elles ne conviennent bien que lorsqu'il s'agit d'enlever des couches d'une certaine épaisseur dans des terrains meubles et peu résistants. Dès que le sol présente un certain degré d'agrégation, le poids de la caisse devient insuffisant pour y faire pénétrer les bords des mâchoires; c'est ce qui arrive pour l'argile très-compacte, surtout quand elle est mêlée de sable ou de gravier. Le rendement de la drague devient aussi notablement moindre dans le sable fin, agglutiné par de la vase; il est plus considérable dans les graviers et les galets mobiles.

M. Lavoigne attribue aux dragues à mâchoires la qualité de pouvoir travailler dans les rades non abritées et dit à ce sujet :

« Le remplissage de la caisse se faisant surtout par l'action de son poids, « ne peut se ressentir que faiblement de l'agitation de la mer; l'effet du ressac « peut seulement l'empêcher parfois d'être complet en précipitant la fermeture de la « caisse. On peut dire que la drague à mâchoires est essentiellement marine en « ce qu'elle n'accomplit qu'une opération tout-à-fait semblable au mouillage et « au relevage d'une ancre, opération que tous les navires sont en mesure de « faire par les gros temps. »

Nous ne croyons pas cependant que cet engin pourrait être employé avan-



tageusement pour l'approfondissement de la barre à l'entrée des ports, comme ceux de la côte des Flandres, où l'on doit compter avec des courants de marée dont la vitesse atteint jusqu'à 1<sup>m</sup>,50 et 1<sup>m</sup>,80 par seconde. Car, dès que le vent soufflerait transversalement par rapport à la direction des courants, une houle un peu forte produirait sur le bateau un mouvement de roulis dangereux, à cause du grand poids de la caisse, et compromettrait son équilibre chaque fois que celle-ci serait arrivée à la hauteur nécessaire pour opérer le déversement des matières draguées.

Il résulte d'ailleurs des essais qui ont été faits, en 1881, à la nouvelle embouchure de la Meuse, que les clam shells, quand il s'agit de creuser dans le sable, fournissent un travail utile bien moindre que les dragues à aspiration dont il sera parlé tantôt. Ces essais eurent lieu dans la passe du Westgat, par des profondeurs de 6 à 7 mètres sous la haute mer, avec l'une des dragues à mâchoires construites par MM. Priestmans, frères, et qui servent actuellement, au port de Hull, à extraire les vases que les eaux de l'Humber déposent dans les bassins. <sup>(1)</sup>

La drague qui fut mise en œuvre, se compose d'un navire en fer à hélice, portant lui-même ses déblais; il a 33 mètres de longueur, 8<sup>m</sup>,20 de largeur et 3<sup>m</sup>,00 de creux. La machine à vapeur a 22 chevaux de force et peut donner au bateau une vitesse de 6 milles anglais à l'heure. La chaudière fournit en même temps la vapeur nécessaire au fonctionnement de deux grues, munies chacune d'un appareil d'extraction; celui-ci se compose d'une caisse ayant la forme d'un segment cylindrique d'un poids de 2000 kilogrammes, laquelle, en descendant librement, s'ouvre par la rotation des deux parties dont elle se compose, autour d'un axe horizontal, pour pénétrer dans le sol, et se refermer ensuite lorsque la grue commence à remonter. Les deux grues sont placées, l'une à l'avant du navire, et l'autre au  $\frac{1}{3}$  de sa longueur, à partir de l'arrière. Les puits destinés à recevoir les terres extraites occupent la partie intermédiaire du bateau; ils ont une capacité de 200 mètres cubes.

D'après les constructeurs, la drague avec ses deux élévateurs, aurait dû donner 200 mètres cubes de déblais à l'heure; mais cette puissance, qui s'applique sans doute à l'extraction de vases au port de Hull, était loin d'être atteinte. On n'obtenait en moyenne que 60 mètres cubes, soit 200 mètres cubes en 3  $\frac{1}{2}$  heures environ. Comme il faut 1  $\frac{1}{2}$  heure pour transporter et décharger les déblais en mer, à 5  $\frac{1}{2}$  kilomètres de la tête des jetées, le cube réalisé n'était que de 400 mètres par jour de 10 heures de travail, résultat de beaucoup inférieur à celui qui est atteint à l'aide des dragues à aspiration.

<sup>(1)</sup> Leemans. *Tydschrift van het Koninklijk instituut van ingénieurs*. Année 1883-1884.



*Dragues à aspiration.* — Ce sont en réalité des pompes à sable ou à vase, installées sur des bateaux.

Des appareils de ce genre ont été employés par M. Leferme pour le dévasement du port de St. Nazaire. <sup>(1)</sup> Ils comprennent un bateau en fer à hélice, sur lequel est placée une machine à vapeur, qui, pendant le dragage, fait marcher des pompes à piston par l'intermédiaire d'une bielle et d'un balancier, actionnés eux-mêmes par un arbre de couche établi parallèlement à la quille. (Pl. XX, fig. 3). Les vases enlevées sont conduites dans des couloirs inclinés et se déversent dans de grandes caisses ou compartiments, réservés dans le bateau et munis de soupapes de décharge. Les tuyaux aspirateurs des pompes sont réunis par une crépine horizontale, plongeant de 0<sup>m</sup>,40 à 0<sup>m</sup>,50 dans la couche de vase, mais qui ne peut y être engagée davantage; sans cela, il devient difficile de faire avancer le bateau et il se forme bientôt au-dessus de la crépine une espèce d'entonnoir, conduisant aux pompes autant d'eau que de vase.

Lorsque les caisses sont remplies, la transmission du mouvement se fait sur l'hélice, et le bateau va porter lui-même, à une distance de 1500 mètres au large du port, les matières extraites du chenal et des bassins.

Les bateaux-pompeurs de ce système ne peuvent servir qu'à l'extraction de vases entièrement privées de sable et se tassant avec lenteur, comme celles qui se déposent au port précité. Le prix moyen de revient du mètre cube de vase extraite et transportée en mer, y était de 0,48 fr. en tenant compte des frais d'amortissement du matériel.

Dans les dragues à succion, destinées à approfondir les fonds de sable à l'embouchure des rivières ou à l'entrée des ports, l'aspiration des matières se fait généralement au moyen de pompes centrifuges. Des bateaux-dragueurs de ce système ont été employés depuis plusieurs années aux Etats-Unis. Un des meilleurs, jusqu'en 1876, était celui d'Henry Burden. (Pl. XX, fig. 4). Le bateau est à aubes; il a 40 mètres de longueur, 12<sup>m</sup>,40 de largeur et 2<sup>m</sup>,10 de tirant d'eau à pleine charge; il porte une machine de 120 chevaux et sert à la fois à l'extraction et au transport des déblais. La pompe centrifuge est installée sur le pont du bateau; elle aspire le sable à l'aide d'un tuyau flexible terminé inférieurement par une herse, dont les dents traînent sur le fond et mettent le sable en mouvement lorsque le bateau est en marche. Les matières élevées sont déversées dans une série de trémies par des portes que l'on ouvre successivement sur le parcours d'un auget régnant sur toute la longueur du pont. Aussitôt le remplissage terminé, on relève le tuyau d'aspiration et l'on conduit le bateau au lieu de déchargement.

<sup>(1)</sup> Leferme. *Annales des Ponts et Chaussées de France*. Année 1869.



La drague Henry Burden a fonctionné à l'embouchure des rivières de Géorgie et de Virginie; elle donnait un produit de 50 mètres cubes par heure.

En 1877, une drague du même type a été construite pour les travaux d'amélioration de l'embouchure du Mississipi; le bateau, qui est en fer et à aubes, présente 56<sup>m</sup>,90 de longueur, 9<sup>m</sup>,60 de largeur et 3<sup>m</sup>,00 de creux; il sert à approfondir les parties de la barre les plus exposées à la houle. La pompe centrifuge a 1<sup>m</sup>,80 de diamètre; le tuyau d'aspiration en a 0<sup>m</sup>,67 et peut plonger jusqu'aux fonds de 8<sup>m</sup>,40 sous une inclinaison de 30°. Les trémies, destinées à recevoir les matières aspirées, sont au nombre de quatre; elles peuvent se décharger à volonté par le bas ou latéralement, et offrent une capacité totale de 384 mètres cubes. A l'aide de cette drague, on élève et on transporte, en moyenne, 80 mètres cubes de déblais par heure.

Une autre drague, basée sur le même principe, est celle du système Newton, mais qui opère la désagrégation du fond au moyen de jets d'eau à haute pression, occasionnant en même temps des remous qui entraînent les matières détachées vers l'orifice du tuyau, dans lequel l'aspiration est produite par la condensation de la vapeur. Des bateaux-drageurs de ce système ont été mis en activité aux ports de Chicago et de Galveston; ils sont longuement décrits dans le mémoire de M. Lavoine; l'un d'eux, travaillant à ce dernier port dans un terrain de gravier, a produit, en 1877, un déblai de 360 mètres cubes par heure, élevés à une hauteur de 8<sup>m</sup>,40, dont 6 mètres en dessous de l'eau, en consommant environ 500 kilogrammes de houille. Le rapport entre les déblais et le cube total aspiré par les pompes variait de 1/3 à 1/4.

En 1874, MM. Plocq et Guillaïn, à cette époque respectivement Ingénieur en Chef et Ingénieur ordinaire du port de Dunkerque, voulant suppléer au manque de profondeur de la passe extérieure du chenal de ce port, entretenue jusqu'alors par la seule action des chasses, ont essayé l'emploi du dragage. Après quelques tâtonnements, ils réussirent en 1877 à faire fonctionner régulièrement sur la barre une drague à suction, construite par la compagnie de Fives-Lille et dans laquelle un jet d'eau, lancé de bas en haut au pied du tuyau d'aspiration, contribuait à entraîner les matières mises en mouvement vers la bouche de déversement. Cet engin est mentionné dans la notice de l'exposition universelle de Paris de 1878, dont nous extrayons la description suivante :

« Le bateau-extracteur est un navire en fer à hélice, de 45<sup>m</sup>,00 de longueur, 7<sup>m</sup>,70 de largeur et 3<sup>m</sup>,10 de tirant d'eau en charge (Pl XXI); il tient bien la mer et porte lui-même ses déblais, de manière à éviter l'emploi de chalands qui encombreraient l'entrée du port et sauraient d'ailleurs difficilement accoster



la drague dès que la houle est un peu forte. Les puits, destinés à recevoir les déblais, sont au nombre de deux et se trouvent au centre du bateau; ils peuvent contenir ensemble 250 mètres cubes de sable, et présentent, dans le fond, des clapets de vidange.

« Deux élinde sont suspendues de chaque côté à l'arrière et le long des flancs du bateau; chacune d'elles se compose d'une couple de tuyaux, partie en tôle, partie en caoutchouc; dans chaque couple, l'un des tuyaux, dit *tuyau de montée*, sert à conduire dans le bateau le mélange d'eau et de sable aspiré par l'appareil; à cet effet, il aboutit par son extrémité supérieure à une pompe centrifuge installée au-dessus de la flottaison dans l'intérieur du bateau; cette pompe est amorcée, puis aidée dans son action d'aspiration par un jet d'eau sous pression, lancé de bas en haut au pied du tuyau de montée au moyen d'un injecteur,

« Celui-ci est constitué par une boîte ou enveloppe en fonte contenant une tuyère d'injection en bronze; la boîte présente à sa partie supérieure deux orifices, l'un de 0<sup>m</sup>,20 de diamètre, correspond au tuyau de refoulement, l'autre de 0<sup>m</sup>,30, au tuyau de montée. L'orifice de refoulement sert d'entrée à une sorte de chambre courbe, de forme méplate, qui tourne autour de l'axe prolongé du tuyau de montée, en conservant autour de cet axe un vide central cylindrique de 0<sup>m</sup>,22 de diamètre. La chambre courbe communique avec ce vide intérieur par une tuyère annulaire dirigée vers le tuyau de montée. L'eau en pression s'échappe avec une grande vitesse par le mince orifice annulaire de la tuyère; elle produit ainsi, par un effet d'entraînement de bas en haut, l'aspiration du déblai dans une tubulure courbe qui continue inférieurement le vide central de l'injecteur et termine l'élinde en reposant sur le sol.

« Cette tubulure, dite *d'aspiration* ou *aspirateur*, est en fonte et a 0<sup>m</sup>,23 de diamètre intérieur; elle est courbe à l'extrémité pour que sa tranche pose bien sur le fond, quelle que soit l'inclinaison que donne à l'élinde la hauteur d'eau dans laquelle on travaille. Sur son pourtour se trouvent trois petits tuyaux venus de fonte, ayant 0<sup>m</sup>,01 de diamètre intérieur et communiquant avec la chambre extérieure de l'injecteur, qui leur fournit ainsi de l'eau sous pression. Ces tuyaux sortent, par trois points équidistants, de la tranche de l'aspirateur en contact avec le sol, et ils la dépassent de 0<sup>m</sup>,06. Les jets d'eau qu'ils servent à lancer, désagrègent le sable et le soulèvent, ce qui rend l'aspiration plus facile.

« La machine à vapeur placée à l'arrière du bateau, peut actionner à volonté, soit l'hélice du navire, soit les pompes centrifuges; les unes, dites *de pression*, prennent l'eau à la mer, l'amènent dans un réservoir à air et de là dans le tuyau de refoulement de chaque élinde, qui la conduit jusqu'à l'injecteur corres-



pendant; les autres pompes, dites *d'aspiration*, agissent aux extrémités supérieures des deux tuyaux de montée et déversent le mélange d'eau et de sable élevé dans des couloirs cloisonnés, qui le distribuent uniformément dans les puits. L'axe de ces pompes est à 0<sup>m</sup>,85 au-dessus de la flottaison lège.

« En marche normale de la machine motrice, celle-ci développe sur les pistons un travail de 150 chevaux de 75 kilogrammètres et consomme 150 kilogrammes de houille par heure.

« Pour faire fonctionner la drague, on mouille le grappin d'arrière du bateau, puis son ancre d'avant; on raidit ensuite les amarres et l'on descend les élinde pour commencer à pomper. Le mélange d'eau et de sable remplit bientôt les puits et à partir de ce moment, l'eau se déverse par dessus le bord et retombe à la mer en cascade; le déblai se dépose dans les puits par décantation, sauf une certaine quantité qui reste en suspension dans l'eau déversée et retourne à la mer. Cette quantité perdue est relativement faible lorsque la mer est calme et que le fond est de sable pur; elle est importante quand le roulis ou le tangage est violent ou que le fond est vaseux; la vase en effet ne reste pas dans les puits, et l'on ne recueille que le sable qui y était mêlé.

« La succion exercée sur le fond par les élinde produit rapidement un entonnoir, dont les talus, en s'éboulant brusquement, pourraient ensevelir les aspirateurs si l'on descendait trop bas. Aussi, quand la profondeur de l'entonnoir au-dessous des fonds environnants atteint 2 mètres, on relève les aspirateurs sans cesser de pomper, on se déplace d'une vingtaine de mètres, puis on rabaisse les aspirateurs sur le fond, et l'on commence un nouvel entonnoir. La durée de chaque station est en moyenne d'une heure. On doit d'ailleurs, pendant cet intervalle, relever de temps en temps les aspirateurs, pour qu'il ne *s'ensouillent* pas, puis les rabaisser immédiatement.

« Quand les puits sont remplis, autant que le permet l'état de la mer, on remonte les élinde hors de l'eau, on lève les ancres et l'on conduit les déblais au lieu de déchargement situé, devant Dunkerque, à 2 milles en mer. Le navire chargé a une vitesse de 6 nœuds; à vide, il peut filer 8 nœuds.

« Le rendement de cette drague est de 25 à 33 parties de sable pour cent parties de mélange d'eau et de sable aspiré; il s'élève quelquefois jusqu'à 40 à 42 parties au moment où l'entonnoir creusé dans le sol a près de 2 mètres de profondeur; mais dès que ces rendements élevés se produisent, on risque de voir l'extraction de sable s'arrêter brusquement par suite de l'ensevelissement des aspirateurs et il faut vivement remonter les élinde pour aller travailler en un autre point.



« En tenant compte des pertes de temps auxquelles donnent lieu les relevages momentanés des élinde, les obstructions causées par les gros fragments qui pénètrent dans les tuyaux, les arrêts et les déplacements occasionnés par le passage des navires, et ensuite de ce fait qu'une partie plus ou moins grande des déblais reste en suspension dans l'eau déversée par dessus bord, on peut estimer le sable recueilli dans les puits à 70 mètres cubes par heure, en moyenne. Le produit effectif se réduit quelquefois à 50 mètres cubes; mais il est assez souvent de 100 mètres et atteint jusqu'à 120 mètres cubes. Ces variations dépendent surtout de l'état de la mer et du vent, et de la nature du terrain.

« La présence de vases ou de matériaux capables de produire des obstructions est très-défavorable au rendement; celui-ci ne dépasse dans ce cas, même par un temps calme, 50 mètres cubes par heure.

« En ce qui concerne l'état de la mer et du vent, le bateau peut travailler, sans risques d'avaries, dans une houle de 0<sup>m</sup>,80 à 1<sup>m</sup>,00 d'amplitude, mesurée du creux au sommet des ondulations; mais il faut pour cela que la direction du vent et celle du courant soient sur une même ligne droite, ou bien fassent entre elles un angle très-aigu ou très-obtus; si le vent souffle perpendiculairement au navire, une houle de 0<sup>m</sup>,40 imprime à ce dernier un roulis qui rend le travail dangereux.

« Quand la houle n'a pas plus de 0<sup>m</sup>,50 de levée avec vent debout ou pas plus de 0<sup>m</sup>,30 avec vent de travers, et que d'ailleurs elle n'est pas trop rapide, on remplit aisément la capacité totale de 250 mètres cubes du puits; mais, si elle s'élève sensiblement au-dessus de ces limites, on ne peut plus retenir qu'un volume de 180 à 200 mètres de déblai par suite de la déperdition que cause le roulis. Une houle de 0<sup>m</sup>,30 à 0<sup>m</sup>,35 de levée sans vent ou avec une légère brise debout, est préférable à une mer calme; les aspirateurs, abandonnés sur le fond, sont alors doucement remués par les mouvements lents du bateau, sans qu'on soit obligé à perdre du temps à les soulever pour les désensouiller. C'est dans ce cas qu'on obtient un produit effectif de 100 mètres cubes à l'heure, le fond étant supposé de sable pur.

« Le rendement est moins bon, quand la houle est causée par un vent actuel; elle est alors trop rapide et les mouvements brusques du bateau gênent et interrompent à chaque instant le fonctionnement des aspirateurs, qu'on ne peut plus laisser reposer librement sur le fond et qu'on doit tenir suspendus sur leurs chaînes de relevage pour éviter la rupture du tuyau par traction. »

Nous parlerons au chapitre suivant des résultats que l'on a obtenus par le dragage au port de Dunkerque, depuis l'époque à laquelle les premiers essais ont eu lieu.



Dans les dragues employées au port d'Ymuiden et au Hoek van Holland et qui, depuis 1880, ont travaillé également sur la barre des ports de Dunkerque, de Calais et de Boulogne, les matières du fond sont simplement aspirées par les pompes, sans aucun dispositif particulier pour en opérer préalablement la désagrégation, ni pour en faciliter l'entraînement de bas en haut.

Les deux bateaux-dragueurs fonctionnant actuellement à l'entrée du port d'Ostende, appartiennent à ce système. L'un d'eux, *l'Aurore II*, est représenté pl. XX, fig. 5; il a été construit récemment sur les chantiers de J. K. Smit, à Kinderdyk, en Hollande, pour le compte des entrepreneurs P. De Swarte et C<sup>e</sup> de Nieuport. C'est un vapeur à hélice, entièrement en fer, de 36 mètres de longueur, 8<sup>m</sup>,60 de largeur et 3<sup>m</sup>,25 de creux; il porte lui-même les déblais.

La drague n'a qu'une seule élinde, suspendue à l'un des côtés du bateau; celle-ci est formée d'un tuyau en tôle de 13 mètres de longueur et 0<sup>m</sup>,50 de diamètre intérieur, muni à son orifice inférieur d'une grille destinée à empêcher l'introduction des grosses pierres et des débris, et articulé avec le tube d'aspiration de la pompe centrifuge par un tuyau de caoutchouc de 1<sup>m</sup>,80 de longueur. Le tube en tôle, dont l'inclinaison ne dépasse jamais 45°, porte deux bras boulonnés, par l'intermédiaire desquels il est suspendu au flanc du bateau à l'aide de deux chaînes fixées en un même point. Celles-ci sont reliées par une traverse d'écartement, dont l'extrémité porte un renflement, correspondant à un fer à cavité attaché au navire et disposé de façon à ne permettre à cette traverse qu'un certain mouvement d'oscillation dans le sens horizontal. Dans ces conditions le tuyau ne peut s'écarter du bateau ni être entraîné sous ce dernier, et la partie flexible du raccordement ne subit aucun effort d'extension ni de compression. Le tuyau d'aspiration est suspendu inférieurement à une chaîne, qui passe sur un treuil placé sur le pont.

La pompe centrifuge, du système Woodford, a 2 mètres de diamètre avec des ailes de 0<sup>m</sup>,26 de largeur et est placée dans la chambre de la machine; son axe se trouve à peu près au niveau de la flottaison lège du bateau et est commandé directement par l'axe de la machine à l'aide d'un embrayage.

La pompe du second bateau-dragueur qui travaille à Ostende, était mise en mouvement, au début, par l'intermédiaire d'un système de roues dentées, mais qui a été supprimé et remplacé par une transmission directe. L'emploi d'engrenages présente ce grand inconvénient de donner lieu à des réparations continuelles; les dents se cassent à chaque instant par suite de la dislocation que le roulis du bateau occasionne aux pièces du bâti portant les roues de l'engrenage, et aussi à cause de la résistance résultant de la présence de pierres ou de corps étrangers entraînés par la pompe.



Le mélange d'eau et de sable aspiré par l'Aurore II passe dans le tuyau de refoulement, lequel se bifurque près de la pompe en deux branches de 0<sup>m</sup>,40 de diamètre, disposées au-dessus des puits. Ces tuyaux déchargent les matières par 4 ouvertures rectangulaires de 0<sup>m</sup>,40 de longueur sur 0<sup>m</sup>,30 de largeur, pratiquées inférieurement dans la paroi, ainsi que par leur section extrême ; mais pour éviter que le mélange ne tombe avec trop de force dans les puits, ce qui contrarierait le dépôt des matières solides, il passe d'abord à travers une trémie, de forme demi-cylindrique, disposée en dessous des tuyaux. Les puits ont une capacité de 258 mètres cubes ; ils sont munis de clapets, dont les tiges de manœuvre aboutissent supérieurement à une passerelle, établie suivant l'axe longitudinal de la drague.

La machine a une force de 160 chevaux indiqués et consomme environ 180 kilogrammes de houille par heure ; elle est placée à l'arrière du bateau, de même que les chaudières. Lorsque les puits sont remplis et que le travail de la drague cesse, on débraye l'axe de la pompe pour embrayer celui de l'hélice et le bateau va transporter les déblais au delà du Stroombank ; il file en moyenne 5 à 6 milles à l'heure lorsqu'il est en charge et 7 à 8 milles, lorsqu'il est à vide.

Dans le sable pur, le rendement moyen de cette drague est d'environ 50 parties de sable pour 100 parties de mélange d'eau et de sable aspiré.

Le cube de matières recueillies par heure dans les puits, dépend évidemment de l'état de la mer et de la nature des fonds. Lorsque le vent souffle en sens contraire du courant, la drague fonctionne toujours difficilement, même quand la houle est faible ; car dans ces conditions le bateau, sollicité par le courant et par l'action variable du vent, ne tient pas en place. Avec des vents du large, les lames agissant en travers de la drague, une levée de plus de 0<sup>m</sup>,50 rend le travail dangereux et l'appareil ne peut fonctionner avec des lames de plus de 0<sup>m</sup>,80 d'amplitude ; il arrive cependant que pour terminer le remplissage d'un bateau, on persiste dans une houle de 1<sup>m</sup>,00. La nature des fonds est très-variable à l'entrée du port d'Ostende ; on y rencontre, suivant les endroits et la profondeur à laquelle la drague travaille, du sable pur, du sable mêlé de coquillages ou du sable vaseux. Dans le sable pur, et quand le temps est favorable, le remplissage du bateau s'opère souvent en une demi-heure ; mais dans les fonds vaseux, le rendement est beaucoup moindre, d'abord parce que le sable agglutiné par de la vase est plus difficile à désagréger, et ensuite parce que la vase, en arrivant dans les puits, ne se dépose pas par décantation et retombe à la mer avec l'eau qui se déverse par dessus bord.



L'équipage du bateau comprend un capitaine, un mécanicien, deux chauffeurs et trois matelots.

On remarquera que, dans les dragues hollandaises, le tuyau de l'élinde est incliné vers l'avant du bateau, tandis que dans la drague de Fives-Lille, les tuyaux d'aspiration sont inclinés vers l'arrière. La première de ces dispositions est préférable, parce que les matières ameublées ne sont plus si facilement entraînées par les courants et sont mieux aspirées, grâce à la protection du talus qui se forme sur le fond, par suite de la position même de l'aspirateur relativement à la direction du courant. Lorsqu'on se trouve en présence de couches résistantes, elle permet aussi de mieux faire pénétrer l'extrémité du tuyau dans le sol, en virant sur l'ancre qui tient le bateau en place et qui est mouillée à l'avant. Aussi la compagnie de Fives-Lille a modifié ses dragues en ce sens ; elle en a supprimé en outre l'injecteur, ou du moins elle n'a conservé le fonctionnement de ce dernier que pour produire le jet de désagrégation et pour amorcer la pompe. Celle-ci est placée à près d'un mètre au-dessus de la flottaison-lège afin de pouvoir la visiter plus aisément en cours de travail, et dans ces conditions, elle ne saurait s'amorcer spontanément ; il faut, à cet effet, au moment de sa mise en train, lancer au moyen de la pompe d'injection un jet d'eau sous une pression de 2 à 3 atmosphères. Pour opérer la désagrégation du sable à aspirer, l'eau de cette pompe est conduite jusqu'au pied du tuyau d'aspiration à l'aide d'un petit tube ; là, elle s'échappe par plusieurs petits orifices, distribués sur la circonférence de la section extrême de ce tuyau, et agit sur le sable des fonds à draguer.

Il n'existe, dans les dragues hollandaises, aucun dispositif spécial pour mettre le sable en suspension autour de l'extrémité inférieure de l'aspirateur. Ensuite, comme la pompe centrifuge a son axe placé très-près de la flottaison-lège, elle s'amorce toute seule dès les premiers tours ; l'eau rejetée dans les puits fait immédiatement descendre le bateau, et la pompe qui se trouve dès lors noyée, marche dans les meilleures conditions. Les constructeurs hollandais ne semblent pas trouver avantage à mettre le sable en suspension autrement que pour l'aspiration elle-même, eu égard aux frais d'établissement et à la dépense supplémentaire de force motrice qui résulte de l'installation d'un système particulier pour la désagrégation du sol ; ils ne considèrent pas non plus comme un inconvénient sérieux d'avoir leur pompe noyée en cours de travail et de ne pouvoir la visiter, en cas d'engorgement, sans avoir préalablement déchargé le bateau.

Parmi les dragues à succion qui ont travaillé à Dunkerque, il en est dont l'élinde est placée au centre du bateau. Une ouverture de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 de



largeur, limitée par des parois en tôle, traverse toute la hauteur de celui-ci suivant son axe et sur une longueur suffisante, pour qu'on puisse y relever et y loger horizontalement le tuyau d'aspiration, quand le bateau doit se mettre en marche. Les puits à soupapes sont distribués symétriquement de chaque côté de cette ouverture. La pompe est fixée près de la cloison fermant celle-ci à l'arrière. Les dragues de ce système sont d'un rendement un peu supérieur à celui des dragues dont l'élinde est placée extérieurement, mais en revanche les avaries y sont plus fréquentes pour le tuyau d'aspiration, lequel se trouve exposé à être plié à cause du roulis du navire. <sup>(1)</sup>

De tous les appareils de dragage, les dragues à aspiration sont certainement les seules qui puissent être employées avec avantage pour l'amélioration de la passe d'entrée de nos ports. Ces dragues, dont la partie destinée à attaquer le fond, est reliée au bateau par des organes flexibles et ne participe pas au mouvement du roulis et de tangage de ce dernier, se prêtent en effet à fonctionner par une mer plus ou moins agitée et par des profondeurs restreintes. Elles peuvent travailler, en se tenant dans le courant, sur une seule ancre d'avant, aidée quelquefois, pour tenir contre les vents de travers, d'une petite ancre à jet à l'arrière ; elles n'embarrassent donc pas l'entrée du port par leurs ancres et elles peuvent en outre se déplacer, quitter ou reprendre leur travail en quelques minutes. Et, en construisant le bateau de manière à ce qu'il porte lui-même ses déblais jusqu'au lieu de déversement, on évite l'encombrement à l'entrée du chenal et les difficultés d'accostage qui résultent nécessairement de l'emploi de chalands ou de bateaux séparés.

A Dunkerque, le prix du mètre cube de matières draguées sur la barre du port et transportées en mer à une distance de 2 1/2 milles de la tête des jetées, était de 2,89 fr. lors des premiers essais de 1877. Depuis cette époque, il est descendu successivement à 1,80 fr. 1,60 fr. et 1,40 fr. et n'est plus aujourd'hui que de 1,20 fr. Au port d'Ostende, le prix du mètre cube est actuellement de 1,88 fr., l'entreprise étant faite pour un terme de cinq ans, et ne pouvant, en importance, être inférieure à 200,000 fr. par an. Mais il est à prévoir que ce prix diminuera également à l'avenir, si, bien entendu, on continue à adjuger les dragages pour un terme de cinq ans, au moins, de manière à répartir l'amortissement du matériel sur une période de durée suffisante.

Nous verrons tantôt, par les exemples de Calais, de Dunkerque et d'Ostende,

<sup>(1)</sup> A. Guillaïn. *Notice sur les appareils employés pour les dragages de sable au large de Dunkerque, de Calais et de Boulogne.*



que les résultats que l'on peut obtenir par le dragage pour l'approfondissement de la barre, varient dans chaque cas avec le régime du port et des plages avoisinantes. Mais devant une côte où les mouvements de sable le long de l'estran ne sont pas abondants, ce procédé, employé concurremment avec les chasses, permet de réaliser et d'entretenir des profondeurs relativement grandes à l'entrée du chenal.

---



## CHAPITRE VI.

### DES PORTS DE LA CÔTE DES FLANDRES, CONSIDÉRÉS PRINCIPALEMENT SOUS LE RAPPORT DU RÉGIME DE LA BARRE EXISTANT A L'ENTRÉE DU CHENAL.

#### I. — CALAIS, GRAVELINES ET DUNKERQUE.

**Port de Calais.** — Le chenal du port de Calais est limité par deux jetées en charpente, orientées à peu près parallèlement N.O.  $2^{\circ}40'$  N. et laissant entre elles une ouverture de 100 mètres de largeur. Il conduit vers le bassin d'échouage, qui est situé à l'ouest et présente 700 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur moyenne avec 1785 mètres de murs de quai en maçonnerie. (Pl. XXII<sup>a</sup>).

En arrière du port d'échouage se trouve le bassin à flot, avec lequel il communique par une écluse simple de 17 mètres d'ouverture et de 40<sup>m</sup>,58 de longueur; cette écluse est munie de portes d'ebbe, soutenues par des portes-valets et dont les buscs sont placés à 0<sup>m</sup>,05 en contrebas des basses mers de vive eau ordinaires. Le bassin à flot a 255 mètres de longueur, 75 mètres de largeur et offre 545 mètres de développement de murs de quai accostables.

Le chenal du port est entretenu au moyen des écoulements d'eau douce des wateringues qui s'étendent sur la rive gauche de l'Aa, de Watten à Calais, et au moyen de chasses à l'eau de mer; le bassin de retenue de celles-ci est formé d'une ancienne crique et mesure 57<sup>h</sup> 80<sup>a</sup> de superficie.

L'écluse de chasse est établie au fond de la partie droite du chenal et comprend trois passages. Celui du centre a 10 mètres de largeur et sert en même temps à la navigation; il est pourvu d'une paire de portes busquées de flot et d'une paire de portes busquées d'ebbe, dont les cadres contiennent des portes tournantes à vantaux inégaux de 5<sup>m</sup>,85 de largeur et 6<sup>m</sup>,85 de hauteur; les buscs sont placés à 0<sup>m</sup>,30 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaires. Les deux passages latéraux ont chacun 4<sup>m</sup>,00 de largeur; ils sont munis d'une porte de flot à simple vantail et d'une porte d'ebbe tournante.



Deux aqueducs de 2<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun, destinés à appuyer le courant des chasses et à l'empêcher de refluer dans le port d'échouage, sont ménagés dans le terre-plein, au nord de l'écluse du bassin à flot. Ils sont munis de vannes, manœuvrées par des treuils à engrenages avec crémaillères, et leur radier, qui offre une pente de 0<sup>m</sup>,90, se trouve à son extrémité aval au niveau des basses mers de vive eau ordinaires.

En vive eau, la puissance des chasses à l'eau de mer est de 345 mètres environ, par seconde, pendant la première demi-heure qui suit l'ouverture des portes.

La plage située à l'est du chenal de Calais jusqu'à la pointe de Walde, a une largeur de 1300 à 1800 mètres, avec une inclinaison de 0<sup>m</sup>,010 à 0<sup>m</sup>,015 entre la laisse des basses mers de vive eau et la laisse des hautes mers de morte eau, et une inclinaison beaucoup plus faible, 0<sup>m</sup>,0015 à 0<sup>m</sup>,002 dans la zone supérieure, comprise entre la laisse des hautes mers de morte eau et celle des plus hautes mers de vive eau. A l'ouest du port, la largeur de l'estran est de 900 mètres; elle diminue rapidement à mesure qu'on se rapproche de Sangatte, où elle n'a plus que 500 mètres.

Devant le port, le talus sous-marin continue sous une inclinaison de 0<sup>m</sup>,015 jusqu'aux grands fonds de plus de 10 mètres sous marée basse, qui forment la rade de Calais.

Le régime des vents dans ces parages est caractérisé par la fréquence des vents d'ouest. Les vents de l'ouest au N.E. en passant par le nord sont d'ordinaire les plus violents.

L'amplitude des marées de vive eau ordinaires est de 6<sup>m</sup>,25. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1<sup>m</sup>,20 au-dessus des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau se trouve à 4<sup>m</sup>,95 au-dessus du même niveau.

Les courants littoraux sont très-intenses dans le voisinage de Calais; la vitesse maximum du courant de flot, dans les marées moyennes de vive eau, est de 2<sup>m</sup>,15 par seconde et celle du courant de jusant, de 2<sup>m</sup>,05 par seconde. La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'instant de la haute mer, est N.E.; celle du courant de jusant, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'instant de la basse mer, est O.S.O. (1)

Si l'on examine les circonstances particulières du régime hydrographique de

(1) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Aron.



la côte de Calais, sous le rapport de l'influence qu'elles exercent sur la situation de la passe d'entrée du chenal, et de la possibilité d'y combattre les atterrissements, on remarque tout d'abord que la grande amplitude de la marée y permet l'établissement de chasses puissantes, et que, grâce à l'intensité des courants qui circulent devant le port, les matières rejetées par les chasses doivent être plus facilement entraînées vers le large. La déclivité relativement prononcée de l'estran sous-marin raccordant la plage avec les fonds de la rade, n'est pas moins favorable pour diminuer l'ensablement à l'entrée, puisque l'effet des vagues, tendant à accumuler les sables sur la plage et près du port, est d'autant moindre que l'inclinaison du talus sous-marin qui précède la côte, est plus raide. De plus, le seul banc existant devant Calais, le Riden, est étroit et peu élevé, de sorte que la rade et le port sont exposés aux lames de la pleine mer; il s'ensuit que les matières vaseuses, contenues dans les eaux qui sont rejetées du chenal pendant les chasses et pendant l'évacuation des eaux supérieures, sont emportées à une grande distance en mer et n'occasionnent guère de dépôts sur la plage de l'ouest; le sable y reste presque pur et il est par conséquent plus facilement entamé par les courants de chasse, de sorte que la passe extérieure aux jetées se maintient mieux dans l'axe du chenal. Ceci à part l'avantage résultant de la plus grande pureté du sable pour le rendement des dragues à aspiration, à l'aide desquelles on creuse directement la barre.

En revanche, les larges estrans qu'on rencontre de part et d'autre du port, mais principalement du côté est, occasionnent des transports d'alluvions importants le long de la côte et en travers du chenal; les sables y sont continuellement remués par les courants et beaucoup plus encore par les vagues de tempête, dont les lames en retour amaigrissent les zones supérieures de la plage au profit de celles situées au delà de la laisse des basses mers; et si les gros temps sont suivis d'une série de vents soufflant dans une même direction transversale par rapport à l'orientation des jetées, ils provoquent des apports brusques de sables devant l'entrée du port. Ces effets se constatent fréquemment à Calais; à la suite d'une période de vents d'est, les sables de la plage située de ce côté et qui est de beaucoup la plus large, sont entraînés vers le chenal et occasionnent parfois, dans la passe extérieure aux jetées, un exhaussement de plus de 0<sup>m</sup>,50 <sup>(1)</sup>

Lorsque les chasses existant actuellement à Calais fonctionnaient seules, la profondeur du chenal comprise entre les jetées était en moyenne de 2<sup>m</sup>,50 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires; elle n'était que de 1<sup>m</sup>,00 à

<sup>(1)</sup> Notice de M. Aron, déjà citée.



1<sup>m</sup>,50 dans la passe extérieure, de 40 mètres de largeur, passant au-dessus du plateau de 400 mètres de longueur environ, qui sépare la tête des jetées du talus des grands fonds de la rade. La direction de cette passe faisait avec l'axe du chenal un angle variable suivant les vents régnants, mais était le plus souvent légèrement inclinée vers l'est, l'angle des deux axes étant en moyenne de 16 degrés.

Depuis 1881, le gouvernement français a fait entreprendre l'approfondissement de la barre du port de Calais au moyen de dragues à aspiration. Trois de ces dragues, dont une porteuse et deux non-porteuses, desservies par des chalands et par un remorqueur, furent installées le 20 juin de cette même année; elles appartenaient aux entrepreneurs hollandais Volker et Bos et fonctionnèrent jusqu'à la fin de novembre; le volume de sable enlevé pendant ces cinq mois s'élevait à 138 000 mètres cubes, à raison de 1,95 fr. le mètre cube, y compris le transport en mer à un mille de distance. A dater du mois de décembre suivant, le travail a été continué à l'aide d'une seule drague-porteuse, navire à hélice de 120 chevaux indiqués, pouvant contenir 170 mètres cubes de sable; cet appareil porte une pompe rotative d'un débit de 1000 mètres cubes d'eau par heure et a enlevé 82 000 mètres cubes de sable en six mois, de décembre à fin mai 1882, à raison de 1,60 fr. le mètre cube.

Le cube total des dragages exécutés à cette époque à l'entrée du port de Calais était donc de 220 000 mètres. Les hauts-fonds situés devant la tête des jetées, se trouvaient abaissés alors de 1<sup>m</sup>,50 en moyenne et la profondeur minimum dans la passe extérieure atteignait 2<sup>m</sup>,50 sous le niveau des basses mers de vive eau, soit 0<sup>m</sup>,65 de plus que la plus grande profondeur qui avait été réalisée précédemment par les chasses seules. <sup>(1)</sup>

Il est à noter que le sable dragué à l'entrée des ports provient, dans les premiers temps, non seulement des apports journaliers dus aux lames et aux courants, mais aussi de l'éboulement des plages avoisinantes qui se raccordent peu à peu sous une pente très-douce avec le fond du chenal approfondi, jusqu'à ce qu'elles aient atteint le talus d'équilibre final. Pour éviter que les sables à provenir de cet éboulement ne viennent affluer dans la passe extérieure, on doit, au début, creuser de part et d'autre de celle-ci des cavités plus profondes, où les matières enlevées des plages, pendant les tempêtes surtout, puissent venir s'emmagasiner.

A Calais, où les sables sont relativement purs et par conséquent très-mobiles,

<sup>(1)</sup> Plocq et Guillaïn. *Notice adressée à l'« Institution of Civil Engineers » de Londres.*



il est nécessaire de maintenir ces excavations, tant à l'est qu'à l'ouest, sur une longueur assez considérable. En revanche, la grande pureté des sables augmente, dans de fortes proportions, le rendement des dragues à aspiration; c'est ainsi que le même appareil a donné à Calais, par heure de travail, un produit trois fois plus grand qu'à Dunkerque; mais l'agitation plus prononcée de la mer devant le premier de ces ports réduit cet avantage et les ingénieurs français ont constaté en définitive que le déblai annuel d'une même drague y est seulement double de ce qu'il est à Dunkerque. Ajoutons que devant Calais, le talus des grands fonds est relativement rapproché de la tête des jetées, circonstance très-favorable évidemment au point de vue de l'efficacité des dragages.

Une nouvelle adjudication pour l'approfondissement de l'entrée de ce port a eu lieu en Février 1882. Elle prescrit l'enlèvement de 575 000 mètres cubes de sable en 4 années, à partir du commencement de 1883. C'est la compagnie de Fives-Lille qui a été déclarée adjudicataire au prix de 0,90 fr. le mètre cube; elle a construit pour ces travaux une drague-porteuse très-puissante, de 250 chevaux indiqués, au moyen de laquelle elle compte pouvoir enlever à Calais, 300 000 à 350 000 mètres cubes par an.

Au mois de Septembre 1883, il avait déjà été dragué, sur le cube adjudgé, 230 000 mètres, ce qui porte à 450 000 mètres cubes, le volume total de sable enlevé. La profondeur obtenue dans la passe d'entrée était à cette époque de 3<sup>m</sup>,75 au moins au-dessous du niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et la courbe des fonds creusés à cette profondeur formait, à partir de la tête des jetées, une surface en éventail dont les côtés étaient inclinés à 20° environ par rapport à la direction de l'axe du chenal.

Le but que l'on poursuit à Calais, est de réaliser dans la passe extérieure une profondeur de 5<sup>m</sup>,25 à 5<sup>m</sup>,75 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires, et dans le chenal intérieur une profondeur de 4<sup>m</sup>,75 sous le même niveau, de manière à pouvoir recevoir, à marée basse de morte eau, des malles de 4<sup>m</sup>,50 de tirant d'eau. A cette fin, on construit en ce moment un nouveau bassin de chasse de 95 hectares de superficie dans la zone supérieure de la plage de l'est. Le fond du bassin formé par la partie endiguée de l'estran, est disposé de façon à utiliser, pour les chasses, une tranche d'eau d'environ 1<sup>m</sup>,50 d'épaisseur, l'amplitude moyenne des marées de vive eau étant de 6<sup>m</sup>,25. L'écluse de chasse comprendra 5 passages de 6 mètres d'ouverture chacun, avec buses placés au niveau des basses mers de vive eau, et la puissance des chasses sera portée ainsi de 345 mètres cubes à plus de 850 mètres cubes par seconde, la durée utile devant toujours être d'environ une demi-heure à trois quarts d'heure.



D'autres travaux importants s'exécutent encore à Calais pour l'amélioration du port. Ils comprennent principalement le creusement d'un avant-port à l'est du chenal, de 350 mètres de longueur sur 160 mètres de largeur, et la construction de deux écluses à sas établissant la communication avec un nouveau bassin à flot. L'une d'elles a 21 mètres de largeur et 135 mètres de longueur utile; l'autre a 14 mètres de largeur et 137<sup>m</sup>,50 de longueur utile. Toutes deux comprennent une paire de portes intermédiaires, divisant le sas en deux compartiments. Les buscs sont établis à 2<sup>m</sup>,50 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau. Le nouveau bassin à flot a 11 hectares de superficie et offre 1800 mètres de murs de quai. Il se termine en amont par un arrière-bassin de 200 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur, lequel communique avec le canal de Dérivation de Calais; ce dernier comprend un port de navigation intérieure, bordé de 1600 mètres de murs de quai.

**Port de Gravelines.** — Le port de Gravelines débouche à la mer par un chenal extérieur au rivage, d'environ 1500 mètres de longueur, compris entre des jetées en enrochements en partie submersibles et en partie insubmersibles; ces jetées sont parallèles, espacées de 75 mètres et orientées à peu près au N.O.  $\frac{1}{4}$  N. (Pl. XXII<sup>a</sup>).

En prolongement du chenal extérieur se trouve le chenal intérieur, d'une longueur de 1800 mètres; il comprend l'avant-port et conduit vers le bassin d'échouage, qui est situé à l'ouest et présente une superficie, susceptible d'être affectée au stationnement des navires, d'environ 1 hectare  $\frac{1}{2}$  avec 325 mètres de murs de quai. Le port d'échouage communique avec un bassin à flot au moyen d'une écluse de navigation maritime simple à deux pertuis, l'un de 10 et l'autre de 8 mètres de largeur, munis chacun de portes d'ebbe et de flot et ayant leurs buscs placés au niveau des basses mers de vive eau. Ce dernier bassin, dont la surface est de 2  $\frac{1}{2}$  hectares, communique lui-même avec la rivière de l'Aa par une autre écluse simple, formée de trois pertuis de 6 mètres de largeur chacun, avec buscs placés à 0<sup>m</sup>,50 au-dessus des basses mers de vive eau.

Au fond du chenal intérieur se trouve l'écluse de chasse, dont le débouché linéaire est de 14 mètres. Elle correspond à un bassin de retenue formé par les fossés de la place, de 20 hectares de superficie environ, et peut lancer à la mer 400 000 mètres cubes d'eau dans l'espace de  $\frac{3}{4}$  d'heure, soit 148 mètres cubes, en moyenne, par seconde.

Ces chasses sont trop peu puissantes pour attaquer efficacement les atterrissements existant à l'entrée du port; elles servent principalement à entretenir



la profondeur du chenal en vue de l'écoulement des eaux de l'Aa. Le débit de cette rivière, qui suffit à peine pour maintenir une passe d'écoulement vers la mer pendant les crues, devient nul pendant les périodes de sécheresse, de sorte que, sans les chasses artificielles, le chenal serait alors vite obstrué.

Les plages de la côte de Gravelines, tant à l'est qu'à l'ouest, sont très-larges; leur largeur varie entre 1100 et 1500 mètres, avec une inclinaison de 0<sup>m</sup>,010 à 0<sup>m</sup>,015 par mètre jusqu'au niveau des hautes mers de morte eau, et de 0<sup>m</sup>,0015 à 0<sup>m</sup>,002 seulement dans la zone supérieure; la laisse des basses mers passe à 150 mètres environ au delà de la tête des jetées. Le talus sous-marin, situé en prolongement de l'estran, présente également fort peu de pente et ce n'est qu'à 2 ou 3 kilomètres au large qu'on rencontre les fonds de 10 mètres.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires, est de 5<sup>m</sup>,84. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1<sup>m</sup>,30 au-dessus de celui des basses mers de vive eau, et celui des hautes mers de morte eau, à 4<sup>m</sup>,54 au-dessus du même niveau.

Dans le voisinage de Gravelines, les courants de flot et de jusant ont respectivement une vitesse maximum de 1<sup>m</sup>,50 et de 1<sup>m</sup>,30 par seconde, par des marées de vive eau ordinaires.

Au point de vue du maintien de la passe d'entrée, le régime hydrographique de l'atterrage de Gravelines est des plus défavorables, à cause de la grande largeur des estrans plats situés des deux côtés du chenal et de la faible déclivité du talus sous-marin qui précède la côte. Les sables abondants de ces estrans viennent obstruer la passe extérieure par l'effet des courants et des lames, pendant que l'action de ces dernières, sur les fonds relativement élevés qui s'étendent à une grande distance au delà de la laisse des basses mers, favorise les apports d'alluvion vers l'entrée du port et à la partie supérieure des plages. Aussi la profondeur de la passe extérieure, sur 300 à 400 mètres de la tête des jetées, ne dépasse guère le niveau des basses mers, même lorsque les chasses et l'écoulement des eaux supérieures produisent leur maximum d'effet. Cette passe subit d'ailleurs des variations continuelles dans sa direction, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant que les vents soufflent de l'est ou de l'ouest; mais, comme les vents d'ouest et le régime des courants littoraux de haute mer produisent des effets dans un même sens, les déviations à l'est sont les plus prononcées. (1)

**Port de Dunkerque.** — Le chenal extérieur du port de Dunkerque a 800 mètres de longueur et 70 mètres de largeur; il est compris entre deux

(1) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur en Chef Plœcq.



jetées parallèles, partie mi-coffrée, partie à claire-voie (Pl. XXII<sup>a</sup>). L'avant-port, formé par le prolongement du chenal, est bordé de chaque côté par des terre-pleins soutenus par des talus perreyés et précédés d'estacades en charpente; il a 650 mètres de longueur et conduit vers le port d'échouage, situé à l'ouest. Ce dernier communique avec le nouveau bassin à flot de l'ouest, que l'on vient de construire, au moyen d'une écluse à sas, ayant 117 mètres de longueur utile et 21 mètres d'ouverture, et dont les buscs sont placés à 2<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. L'avant-port s'étend du côté amont jusqu'à l'entrée du bassin du Commerce, avec lequel il est mis en relation par les écluses de la Citadelle et de barrage. La première est à sas; elle offre 50 mètres de longueur franche et 13 mètres de largeur; la seconde est simple et a 21 mètres de largeur. Le bassin du Commerce a 500 mètres de long sur 110 mètres de large et est bordé de 845 mètres de quais en pierre; il communique par une écluse simple avec un autre bassin, de 3 hectares de superficie, appelé bassin de la Marine, et par un pertuis non éclusé avec le bassin dit : de l'Arrière-port, de 2 1/2 hectares de superficie.

Au fond du chenal extérieur et immédiatement en aval de l'avant-port, se trouve une première écluse de chasse, formée de cinq pertuis et correspondant à un bassin de retenue de 30 hectares de superficie; le pertuis central a 5<sup>m</sup>,20 de largeur et les 4 autres ont 4<sup>m</sup>,00 de largeur. Ils sont munis d'une paire de portes de flot, et les buscs sont à la cote 0<sup>m</sup>,60 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau ordinaires.

Le pertuis central est pourvu en amont d'une paire de portes d'ebbe, avec vantaux tournants enchâssés dans les cadres busqués; chaque pertuis latéral est pourvu en amont d'une porte tournante. L'écluse présente ainsi un débouché utile effectif de 18<sup>m</sup>,60 et peut lancer à la mer 750 000 mètres cubes d'eau en 3/4 d'heure. Les chasses ne s'opèrent que pendant la période des marées de vive eau, qui dure cinq à six jours et pendant laquelle la hauteur de chute disponible varie de 4<sup>m</sup>,50 à 5<sup>m</sup>,00, mesurée au-dessus des buscs. En morte eau, la chute est trop faible pour produire des chasses bien utiles.

L'avant-port reçoit les eaux surabondantes des wateringues de l'arrondissement de Dunkerque par les canaux de Ceinture et de la Cunette.

Le premier de ces canaux débouche sur la rive gauche au moyen de l'écluse du fort Revers, qui se compose de deux pertuis, dont l'un a 7 mètres de largeur avec buscs établis à 0<sup>m</sup>,10 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau; l'autre pertuis a 9 mètres de largeur et est muni d'une paire de portes d'ebbe et de deux paires de portes de flot, comprenant entre elles un sas de 40<sup>m</sup>,40 de



longueur franche et servant aux besoins de la batellerie; celui de 7 mètres est muni d'une paire de portes de flot, et d'une porte tournante. Les deux pertuis servent concurremment pour les dessèchements.

Le canal de la Cunette débouche sur la rive droite de l'avant-port par l'écluse du même nom. Cette écluse, dont le busc correspond au niveau moyen des basses mers de vive eau, n'a qu'un seul pertuis de 10<sup>m</sup>,00 de largeur, pourvu d'une paire de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe. Dans les cadres busqués de celles-ci se trouvent enchâssés des vantaux tournants, offrant un débouché utile de 8<sup>m</sup>,25 de largeur et servant au fonctionnement du second étage du système des chasses. La superficie de la retenue correspondante est de 10 hectares et le volume d'eau utile lancé par l'écluse, pendant une chasse, est d'environ 200 000 mètres cubes.

Dans les portes des écluses du bassin à flot du Commerce, il est ménagé 12 vannes, dont le débouché total est de 12 mètres carrés et qui fonctionnent sous une charge d'eau moyenne de 3<sup>m</sup>,50; un aqueduc de chasse, de 1<sup>m</sup>,20 de débouché et manœuvrant sous une charge d'eau moyenne de 3<sup>m</sup>,00, est pratiqué sous le terre-plein de l'écluse de barrage. A l'aide de ces vannes, on établit un troisième étage de chasses, avec la tranche d'eau supplémentaire dont on peut disposer dans les bassins à flot décrits ci-dessus. La superficie de ces bassins étant de 11 hectares, et l'épaisseur de la tranche, de 0<sup>m</sup>,80 à 1<sup>m</sup>,00, la puissance du troisième étage peut être évaluée approximativement à 100 000 mètres cubes.

Ces trois étages de chasses permettent de lancer dans le chenal un volume d'eau total de 1 050 000 mètres cubes en trois quarts d'heure ou 380 mètres cubes par seconde.

A Dunkerque, la plage de l'ouest présente une largeur de 1 200 à 1 600 mètres et s'étend le long du chenal du port jusqu'à 500 mètres environ au delà de la tête des jetées; son inclinaison est de 0<sup>m</sup>,010 à 0<sup>m</sup>,015 par mètre entre la laisse des basses mers de vive eau et celle des hautes mers de morte eau; la zone supérieure que la mer ne couvre qu'en vive eau, se tient sensiblement de niveau. Immédiatement à l'est du chenal, l'estran a 900 mètres de largeur et ne dépasse pas le musoir de la jetée; son inclinaison est de 0<sup>m</sup>,007 à 0<sup>m</sup>,008 par mètre jusqu'à la haute mer de morte eau et de 0<sup>m</sup>,003 par mètre dans la zone supérieure.

Il est à remarquer que la configuration des plages situées de part et d'autre du port de Dunkerque, diffère sensiblement de celle que l'on observe à Gravelines et à Calais; à ce dernier port, c'est la plage de l'est qui est beaucoup plus étendue que celle de l'ouest, tandis qu'à Gravelines l'estran est également large des deux côtés et dépasse de 250 mètres la tête des jetées.



Les lignes de niveau de 3 à 4 mètres sous marée basse se trouvent, devant Dunkerque, à 600 mètres environ de l'extrémité du chenal, mais, à partir de cette distance, le talus sous-marin se raidit notablement et se raccorde avec les fonds de 10 mètres de la rade sous une inclinaison variant de 0<sup>m</sup>,05 à 0<sup>m</sup>,07 par mètre.

Le régime des vents dans les parages de Dunkerque est caractérisé par la prédominance des vents d'ouest; les vents du nord au sud, en passant par l'ouest, sont ceux qui acquièrent le plus d'intensité.

L'amplitude des marées de vive eau ordinaire est de 5<sup>m</sup>,45. <sup>(1)</sup> Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 1<sup>m</sup>,25 au-dessus de celui des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau à 4<sup>m</sup>,45 au-dessus de ce même niveau.

Dans la rade de Dunkerque, les courants de flot et de jusant ont respectivement une vitesse maximum de 1<sup>m</sup>,80 et de 1<sup>m</sup>,50 par seconde, par des marées moyennes de vive eau. La direction du courant de flot au moment de sa plus grande vitesse, qui se produit un peu après le plein, est E.N.E.; celle du courant de jusant au moment de sa plus grande vitesse, soit aux environs de la basse mer, est ouest <sup>(2)</sup>.

Le régime des plages de la côte de Dunkerque donne lieu à de grandes difficultés pour l'entretien de la passe d'accès du port. Tandis que les transports de sable ne sont pas très-abondants sur l'estran de l'est, ceux qui se produisent sur l'estran de l'ouest sont au contraire considérables, surtout lorsque le vent souffle de cette dernière région; il n'est pas rare de constater, par une série de vents du S.O., des apports brusques de sable, dont le volume peut être évalué à plus de 30 000 mètres cubes et qui s'amoncellent, en moins de quinze jours, dans la partie ouest du chenal intérieur et de la passe d'entrée.

Les chasses actuelles sont impuissantes à combattre la déviation à l'est que subit la passe extérieure, par suite de la prédominance de ces mouvements de sable, et aussi par les effets résultant des écoulements d'eau dont nous avons

<sup>(1)</sup> Au port de Dunkerque, on admet que le niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires coïncide sensiblement avec le *zéro de l'échelle de l'écluse de la Cunette*, et que le niveau moyen des hautes mers de vive eau est à 5<sup>m</sup>,45 au-dessus de ce repère. Le *zéro des cartes marines* ou niveau des plus basses mers, est placé à 0<sup>m</sup>,437 sous le zéro de l'écluse de la Cunette.

Le zéro de l'écluse de la Cunette est à 1<sup>m</sup>,987 au-dessous du plan de comparaison des nivellements français ou niveau moyen de la mer à Marseille, lequel se trouve à 1<sup>m</sup>,405 au-dessus du plan de comparaison du nivellement général de Belgique ou *zéro du Dépôt de la guerre* et à 1<sup>m</sup>,371 au-dessus du (Z), ou *zéro d'Ostende*. Ce dernier repère est donc placé à 0<sup>m</sup>,416 au-dessus du zéro de l'écluse de la Cunette. (*Nivellement général du royaume de Belgique*, publié par l'institut cartographique militaire en 1879, pages 2, 42 et 185).

<sup>(2)</sup> *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur en Chef Plocq.



parlé au chapitre précédent; elles ne peuvent de resté maintenir dans le chenal intérieur plus de 2<sup>m</sup>,25 à 3<sup>m</sup>,00 de profondeur sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, ni plus de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,25 de profondeur, à l'intérieur des jetées sur environ 30 mètres de largeur, suivant la fréquence et l'intensité des tempêtes.

Cette situation ne répondant plus au mouvement commercial toujours croissant du port de Dunkerque, M. l'Ingénieur Plocq proposa en 1861, et fit adopter de 1865 à 1870, l'organisation d'une nouvelle série de bassins de retenue, devant élever la puissance des chasses de 380 à 820 mètres cubes. Les travaux sont combinés de façon à utiliser les fossés de la défense militaire de la place comme nouveaux réservoirs, et à faire servir en même temps ces derniers à l'amélioration du dessèchement des 45 000 hectares de terres de wateringues, dont les eaux se déversent dans le chenal du port. A cette fin, les réservoirs de chasse sont mis en communication avec les canaux d'écoulement de ces terres et feront fonction de bassins d'appel, où les eaux surabondantes pourront venir s'emmagasiner pendant la haute mer. La communication étant pourvue d'écluses de garde, avec portes de flot, il suffira de fermer celles-ci pour pouvoir introduire la marée haute dans les bassins et faire des chasses à l'eau de mer, lorsque les terres n'exigeront plus d'écoulement immédiat.

Les deux écluses de chasse, placées respectivement à l'extrémité des fossés de l'ouest et à celle des fossés de l'est, sont terminées; ces ouvrages ont un débouché linéaire total de 30 mètres et fonctionnent depuis quelque temps comme écluses de dessèchement; l'aménagement des réservoirs, qui auront 66 hectares de superficie, n'est pas encore achevé.

On se propose à Dunkerque de réaliser 3<sup>m</sup>,50 de profondeur, au moins, sous le niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires dans le chenal intérieur et 4<sup>m</sup>,00 dans la passe extérieure aux jetées, afin de rendre le port accessible, en pleine mer de morte eau, aux navires de 7<sup>m</sup>,00 de tirant d'eau, en ménageant à ceux-ci 0<sup>m</sup>,50 d'eau sous quille, même pendant les gros temps. Les nouvelles chasses produiront sans aucun doute l'effet voulu dans le chenal intérieur, mais, au delà de la tête des jetées, elles ne donneront probablement pas plus de 2<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,00, et il faudra y suppléer au manque de profondeur par le dragage.

C'est en 1877, avons-nous vu précédemment, que les dragues ont commencé à fonctionner régulièrement à l'entrée du port de Dunkerque. On a extrait pendant cette année, du mois de juillet au mois de novembre inclusivement, environ 25 000 mètres cubes de sable, et le résultat obtenu par ce déblai relativement peu important, permettait déjà de ne plus douter de l'efficacité du



procédé. Depuis lors, les ingénieurs français ont marché résolument dans cette voie et au mois de mai 1882, il avait déjà été dragué sur la barre du port un cube total de 730 000 mètres, dont 375 000 mètres pendant les douze derniers mois. La profondeur minimum réalisée atteignait alors 2<sup>m</sup>,25 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, et dépassait de 1<sup>m</sup>,00 environ la meilleure situation obtenue antérieurement par les chasses agissant seules.

Depuis le mois de mai 1882, quatre dragues hydrauliques porteuses, ayant une puissance totale de 560 chevaux indiqués et des puits à soupapes d'une capacité totale de 784 mètres cubes, travaillent simultanément et produisent ensemble, pendant un mois de travail moyen, 40 000 mètres cubes de déblais, transportés à 2 1/2 milles au large. Au mois d'août 1883, elles avaient enlevé de la barre près de 700 000 mètres cubes de sable et l'on sondait à cette dernière époque, à marée basse de vive eau, 2<sup>m</sup>,80 d'eau au moins dans toute l'étendue de la passe extérieure; celle-ci était déjà bien ouverte du côté de l'ouest, et l'on continue à y draguer activement en prévision des apports de sable à provenir de gros temps. Ce résultat est très-satisfaisant, quand on tient compte de ces circonstances, que le plateau élevé qui se trouve entre la tête des jetées de Dunkerque et le talus des grands fonds de la rade, n'a pas moins de 600 mètres d'étendue et que d'autre part, les chasses ont dû être interrompues en grande partie, à cause des travaux de construction des nouveaux docks.

A Dunkerque, les dragues à aspiration peuvent fonctionner pendant plus de la moitié du nombre total des jours de l'année, grâce à la protection des bancs de sable qui s'étendent au large de la rade; mais le rendement de ces appareils y est relativement faible, à cause<sup>(1)</sup> de la présence des matières limoneuses qui sont mélangées au sable de la plage. D'après l'expérience acquise, une drague de 120 chevaux indiqués, du type de celle de l'Aurore II, représentée pl. XX, fig. 5, et ayant environ 170 mètres cubes de capacité dans les puits, fournit par année, en utilisant les marées de nuit comme les marées du jour, une moyenne de 2500 heures de travail et produit environ 80 000 mètres cubes de déblais, transportés à 2 milles en mer<sup>(1)</sup>.

Pour compléter la description du port de Dunkerque, il nous reste à mentionner les travaux importants que l'on y exécute actuellement pour la création d'une série de nouveaux bassins ou darses, avec formes de radoub, gare maritime, etc.

Le bassin de l'ouest sera agrandi et communiquera directement avec trois darses, disposées en grande partie sur l'emplacement du bassin de retenue. Ce

(1) Guillaïn. *Note sur les appareils employés pour les dragages de sable au large de Dunkerque, de Calais et de Boulogne*, déjà citée.



dernier disparaît et les chasses qu'il servait à opérer dans le chenal seront remplacées par celles que l'on effectuera avec la tranche supplémentaire d'eau des nouveaux bassins à flot. (Pl. XXIII).

L'écluse du fort Revers et le canal de dérivation sont également supprimés, de même que l'écluse de la Cunette et la partie aval du canal de ce nom. L'écoulement des eaux auquel ces écluses étaient destinées, se fera exclusivement par les fossés extérieurs de la défense militaire de la place et par les nouvelles écluses, construites à leur débouché. Ces derniers ouvrages, ainsi que nous l'avons dit plus haut, serviront en même temps à opérer des chasses à l'eau de mer, chaque fois que l'assèchement des terres des wateringues de la contrée peut être interrompu.

L'écluse des fossés de l'est est formée de 4 pertuis de 4<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun; celle des fossés de l'ouest comprend trois pertuis de 4<sup>m</sup>,00 de largeur et un aqueduc de 2<sup>m</sup>,00; les seuils de ces ouvrages sont placés au niveau moyen des basses mers de vive eau.

On construit en ce moment une seconde écluse au débouché des fossés de l'ouest, qui se composera de 8 tubes cylindriques en maçonnerie, à section circulaire, de 2<sup>m</sup>,00 de diamètre, fondés sur béton et dont la génératrice inférieure se trouvera à 2<sup>m</sup>,50 sous le repère précité. Ces tubes, qui seront noyés entièrement, même à marée basse, se fermeront à l'aide de portes, tournant autour d'un axe vertical, placé vers le milieu de chaque vantail; ils seront recouverts entièrement par un remblai. Cette disposition a été adoptée pour des considérations de défense militaire.

Les nouvelles darses auront 90 mètres de largeur, et seront creusées à la cote — 2<sup>m</sup>,50 par rapport au niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires; elles communiqueront avec le chenal par l'écluse du bassin de l'ouest d'abord, et par une seconde écluse à établir immédiatement en amont de l'emplacement du phare. Les terre-pleins séparant ces darses et destinés à l'installation des quais, auront 180 mètres de largeur; ils seront pourvus de lignes ferrées conduisant à une vaste gare maritime, laquelle est établie à l'ouest des bassins, en prolongement de la gare du chemin de fer du Nord.

Un canal de 40 mètres de largeur au plafond, avec 2<sup>m</sup>,12 de tirant d'eau minimum, a été creusé entre le quai du Mardick et l'ancien canal de dérivation. Ce canal, appelé *canal de l'île Jeanty*, est à l'usage de la petite navigation et communique avec les bassins à flot, au moyen de deux écluses à sas de 6 mètres de largeur et de 40 mètres de longueur utile.

Les formes de radoub, au nombre de quatre, seront disposées entre l'écluse



d'entrée du bassin de l'ouest et l'écluse d'entrée des nouvelles darses. La plus grande aura 21 mètres de largeur, 180 mètres de longueur franche, avec seuils placés à 2<sup>m</sup>,50 sous le repère précité. La plus petite aura 14 mètres de largeur, 80 mètres de longueur franche avec seuils d'entrée placés à la cote — 1<sup>m</sup>,00. Les deux autres formes sont déjà terminées; elles ont toutes deux 14 mètres de largeur et 100 mètres de longueur franche. Toutes ces formes seront fermées à l'aide de bateaux-portes.

Du côté de l'est, les travaux projetés comprennent l'établissement d'un bassin à flot, destiné spécialement à la petite navigation, et l'installation de chantiers de construction; mais cette partie du projet n'est pas encore définitivement arrêtée.

En terminant la description des ports de la côte française, Calais, Gravelines et Dunkerque, nous ferons remarquer, d'une manière générale, que ces trois ports, les deux derniers surtout, débouchent sur des plages dont le régime est fort défavorable pour le maintien de la profondeur à l'entrée du chenal. Sur la côte de Belgique, le régime de l'estran se modifie notablement; les mouvements de sable le long du rivage y sont moins importants, et ce caractère particulier s'accroît de plus en plus en avançant vers le nord. Il en résulte que l'ensablement des ports y est d'autant moins à redouter que leur emplacement se trouve plus près de l'embouchure de l'Escaut, ainsi que nous allons le voir.

## II. — NIEUPOORT, OSTENDE ET BLANKENBERGHE.

**Port de Nieuport.** — Le port de Nieuport est situé à l'embouchure de l'Yser. Cette rivière se divisait autrefois en plusieurs branches; l'artère principale passait devant Lombartzyde et y formait le port de ce nom; elle se prolongeait en amont suivant la direction de la crique de Nieuwendamme. Une autre branche passait devant le bourg de Santhove, qui se trouvait à une demi-lieue de la mer, en face de Lombartzyde. C'est cette branche qui fut utilisée, à partir de 1160, comme nouveau port, après que le port de Lombartzyde eût été envasé à la suite des inondations, et le bourg de Santhove prit le nom de Neuf-port ou Nieuport.

De nombreuses ramifications s'étendaient en amont de ces branches principales; l'une d'elles laissait pénétrer la mer jusque dans les moères de Furnes. Les courants continuels, occasionnés par la masse des eaux qui entraient à chaque marée dans ces vastes réservoirs, pour en sortir à la marée descendante suivante, constituaient un puissant mode de curage pour le port et y entretenaient la profondeur des passes. Mais par suite de l'endiguement graduel des criques et des bas-fonds



d'amont, et après que la construction des écluses eût arrêté les incursions journalières de la mer vers l'intérieur des terres, le chenal s'est envasé, et il n'est plus entretenu aujourd'hui que par le jeu des marées dans son lit et par l'évacuation des eaux supérieures.

Le port de Nieuport se compose d'un chenal extérieur et d'un chenal intérieur, lequel comprend le bassin d'échouage et l'arrière-port. (Pl. XXII<sup>b</sup>).

Le chenal extérieur a 600 mètres de longueur, 80 mètres de largeur moyenne et est bordé par des jetées à claire-voie en charpente; la jetée ouest est reliée à la dune par une digue recouverte d'un perré.

Le chenal intérieur, d'une longueur totale d'environ 3000 mètres, présente une partie droite, située en prolongement du chenal extérieur, et deux coudes situés en amont. Il est limité à l'ouest par une passerelle en charpente, faisant suite à l'estacade, et plus loin par une digue insubmersible en terre qui continue jusqu'au terre-plein existant devant la ville; à l'est, le chenal est bordé par une bande de terrains de schorres que la mer inonde dans les grandes marées de vive eau et qui se terminent au pied des dunes; en amont de celles-ci, les terrains avoisinants sont protégés par des digues en terre.

La partie du chenal utilisée comme bassin d'échouage, s'étend devant la ville jusqu'à l'endroit où se trouvait précédemment un pont en charpente, appelé *le Long-pont* et qui était établi au-dessus du chenal, pour la traversée de la route de Nieuport à Ostende.

Cet ouvrage, dont l'ouverture n'était plus en rapport avec le débouché des nouvelles écluses, construites au fond de l'arrière-port pour l'évacuation des eaux de la contrée, a été démoli lors de la crue de 1880; aujourd'hui le passage de la route de Nieuport à Ostende se fait exclusivement par le détournement passant au-dessus des ponts de ces écluses.

Le bassin d'échouage est pourvu, du côté de la ville et sur 300 mètres de longueur, d'un quai en maçonnerie.

Quant à l'arrière-port, il a une longueur d'environ 320 mètres depuis l'emplacement du Long-pont jusqu'aux écluses situées au débouché des divers canaux aboutissant à Nieuport. Ces écluses sont au nombre de six: l'écluse d'Ypres, la nouvelle écluse de Furnes, l'écluse de chasse, l'écluse du Furnes-Ambacht, l'écluse du Vladsloo-Ambacht et l'écluse du Comte.

L'écluse d'Ypres et la nouvelle écluse de Furnes se trouvent respectivement au débouché de l'Yser et du canal de Nieuport à Furnes; ce dernier sert également, en temps de crue, à écouler les eaux amenées de cette rivière par le canal de Loo. Elles ont été reconstruites en 1876 et se composent chacune d'un sas de



8<sup>m</sup>,50 de largeur et de 50 mètres de longueur utile, ainsi que d'un déversoir accolé, comprenant cinq pertuis pour le premier et quatre pertuis pour le second de ces ouvrages. Chaque pertuis a 2<sup>m</sup>,10 d'ouverture et est muni de deux vannes, manœuvrées au moyen de crics installés sur un bâti en fer. Les vannes d'aval servent de vannes de garde. En temps de crue, la décharge des eaux s'opère à la fois par l'ouverture du sas et par les pertuis, de sorte que le débouché effectif des deux écluses est respectivement de 19<sup>m</sup>,00 et de 16<sup>m</sup>,90.

L'écluse de chasse appartient à la crique de Nieuwendamme, qui communique avec l'Yser à l'aide d'un déversoir à vannes, placé dans la digue droite de la rivière, à 500 mètres environ en amont de l'écluse d'Ypres. Elle se compose de deux pertuis de 5 mètres d'ouverture chacun, munis d'une porte tournante et d'une paire de portes de flot. Cet ouvrage a été construit dans le but d'utiliser la crique de Nieuwendamme comme bassin de retenue, et d'opérer des chasses dans le chenal du port, avec l'eau emmagasinée dans ce réservoir; il sert aujourd'hui, concurremment avec l'écluse d'Ypres et la nouvelle écluse de Furnes, à écouler les eaux surabondantes de l'Yser.

Pour faire comprendre l'importance de cette rivière sous le rapport des crues auxquelles elle est sujette, nous en décrivons sommairement le régime.

L'Yser a ses sources en France, aux environs de Cassel et de St-Omer; il pénètre en Belgique à Rousbrugghe, en se dirigeant vers le N.N.E., passe à Dixmude et se jette à la mer à Nieuport. Entre la frontière et Elzendamme, la vallée est assez étroite; à partir de ce village, elle s'élargit rapidement sur la rive droite, et présente d'immenses prairies qui s'étendent jusqu'à Dixmude. La rive gauche de la rivière est endiguée depuis La Fintelle jusqu'à Nieuport, et la rive opposée, depuis Dixmude seulement.

Outre les eaux qu'il amène de France, l'Yser reçoit toutes celles de la partie de notre territoire qui se trouve à droite de son cours, jusqu'à la rencontre d'une ligne dont les extrémités seraient situées respectivement à Oere et à Thourout; son niveau ordinaire de navigation se trouve à 3<sup>m</sup>,25 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau, observées à Ostende. En temps de sécheresse, le débit de la rivière est presque nul; mais après quelques jours de pluies intenses, les eaux affluent rapidement de la France et, ne trouvant qu'une faible pente en arrivant sur notre territoire, leur niveau s'élève dans un temps très-court à une hauteur considérable au-dessus de l'étiage. Le lit de la rivière étant insuffisant, les eaux inondent les vastes prairies de la rive droite jusqu'à Dixmude et celles de la rive gauche jusqu'à La Fintelle.

Lors de la grande crue de décembre 1872, alors que les écluses de Nieuport



n'étaient pas encore reconstruites, les eaux de l'Yser ont atteint, à La Fintelle, la cote  $+ 5^m,55$  par rapport au (Z); aux écluses de Nieuport, le niveau de la rivière, rapporté au même repère, se trouvait alors à  $+ 4^m,53$  au moment de l'ouverture des portes et à  $+ 3^m,56$  au moment de la fermeture de celles-ci.

La situation ne fut pas moins alarmante pendant la crue du mois de décembre 1880.

Mais depuis cette époque, les travaux de recreusement et d'endiguement du canal de Loo et du canal de Furnes à Nieuport ont été terminés, et l'écoulement des eaux se fait actuellement à la fois par la rivière et la crique de Nieuwendamme et par la dérivation qui est formée à l'aide des canaux précités.

Ces travaux, qui deviendront plus efficaces encore par le redressement et le recreusement de quelques parties du lit de la rivière, ont donné un très-bon résultat, ainsi qu'on a pu le constater lors de la crue qui s'est produite au mois de décembre 1882, et pendant laquelle les eaux de l'Yser n'ont atteint que la cote  $+ 4^m,50$  à La Fintelle.

En temps de crue ordinaire, les écluses de cette rivière restent moyennement ouvertes, à chaque marée, durant  $7 \frac{3}{4}$  heures en vive eau et durant  $8 \frac{1}{2}$  heures en morte eau. Mais, par les grandes inondations, la durée moyenne des évacuations est de 9 heures aux marées de vive eau ordinaires; en morte eau, les portes ne se ferment alors que pendant une heure environ, et il est même arrivé, lors de la grande crue de 1872, que, grâce à un temps calme, elles sont restées ouvertes au plein de la mer. Chaque hiver d'ailleurs, surtout pendant les années pluvieuses, les écluses de l'Yser fonctionnent, toutes larges ouvertes, pendant des mois entiers.

Passons aux autres écluses débouchant dans l'arrière-port de Nieuport.

L'écluse du Furnes-Ambacht et celle du Vladsloo-Ambacht, reconstruites toutes deux en 1875, sont exclusivement destinées aux dessèchements des terres des wateringues du même nom.

La première se trouve au débouché de la nouvelle dérivation de l'Oostvaart, et comprend 8 pertuis de  $2^m,00$  d'ouverture chacun, munis d'un double système de vannes, manœuvrées à l'aide de crics. Toutes les eaux du territoire compris entre l'Yser, le canal de Bergues, le canal de Nieuport à Dunkerque (partie de Furnes à la frontière) et les dunes, d'une superficie de 24 000 hectares, arrivent par les canaux intérieurs du Furnes-Ambacht vers le Koolhofvaart et l'Oostvaart, et se déversent à la mer par cette écluse.

L'écluse du Vladsloo-Ambacht dépend du canal de ce nom et comprend trois pertuis de  $2^m,50$  de largeur chacun, présentant le même mode de fermeture que



ceux de l'écluse du Furnes-Ambacht; elle sert au dessèchement des terres situées à droite de l'Yser, entre Dixmude et Nieuport, et d'une partie de celles qui s'étendent au nord du canal de Nieuport à Plasschendaële.

Ces terres, de même que celles du Furnes-Ambacht, se trouvent en général à un niveau inférieur à celui des hautes mers. En temps ordinaire, le niveau du canal du Furnes-Ambacht est maintenu en moyenne à la cote  $+ 2^m,54$  par rapport au (Z) et celui du Vladsloo-Ambacht à la cote  $+ 2^m,39$ ; à l'époque des grandes crues, le niveau de ces canaux s'élève de  $0^m,70$  environ au-dessus de leur étiage. L'écoulement des eaux surabondantes s'y effectue moyennement pendant 4 à 4  $\frac{1}{2}$  heures avant, et pendant 1 à 1 heure  $\frac{1}{2}$  après la marée basse.

L'écluse du Comte est une écluse de navigation, établissant la communication entre le canal de Nieuport à Plasschendaële et l'arrière-port; elle a  $8^m,00$  d'ouverture et 50 mètres de longueur franche de sas. Les portes sont munies de vannes permettant, concurremment avec des larrons ménagés dans les bajoyers, d'évacuer les eaux des terres qui s'égouttent dans le canal.

On peut juger, d'après ce qui précède, de la masse d'eau considérable qui s'écoule, pendant les saisons pluvieuses, par le chenal de Nieuport. Cette circonstance est précieuse pour le maintien de la profondeur du port, car elle réalise des chasses naturelles très-efficaces, dont les effets se font sentir jusqu'à l'extrémité des jetées, malgré la longueur et les sinuosités du chenal.

Dans le voisinage du port de Nieuport l'estran présente, tant à l'est qu'à l'ouest, une largeur moyenne de 400 mètres et une inclinaison moyenne de  $0^m,012$  par mètre.

Près du chenal et de part et d'autre de celui-ci, la laisse des basses mers de vive eau ordinaires s'avance d'environ 100 à 130 mètres, et se raccorde avec les têtes des jetées, sans toutefois les dépasser. Elle se rapproche rapidement de la dune à mesure qu'on s'éloigne du port et reprend, des deux côtés, sa position normale à  $\frac{1}{2}$  kilomètre de distance environ de ce dernier. Mais il est à remarquer que cette saillie de l'estran n'est pas une conséquence de la construction des jetées du port; elle existe depuis grand nombre d'années, ainsi qu'on peut le voir sur les anciens plans, dressés à des époques où pareils ouvrages n'existaient encore que le long d'une partie du chenal.

D'après l'un de ces plans, daté de 1734 et qui se trouve aux archives de l'hôtel de ville de Nieuport, le chenal était bordé à cette époque par quelques épis, établis transversalement sur les rives, et plus en aval, par deux tronçons de jetées basses, appelées *têtes* ou *duyckers*. Ces jetées se dirigeaient, à leur extrémité, vers le N.O.; la jetée de l'ouest était un peu plus longue que celle de



l'est, mais toutes deux s'arrêtaient dans la zone supérieure de la plage. Au delà de ces ouvrages, le chenal présentait, à marée basse, un coude prononcé en s'infléchissant vers l'est.

La jetée de l'est fut prolongée par parties successives; le premier prolongement date de 1770; le dernier, comprenant le musoir, a été construit en 1869. La jetée actuelle de l'ouest, de construction plus récente, fut commencée en 1868 et achevée en 1873.

Devant le chenal de Nieuport, les fonds de 5 mètres se trouvent, d'après les derniers sondages de M. le Lieutenant de vaisseau Petit, à 450 mètres environ de la laisse des basses mers; plus loin, l'estran sous-marin ne présente qu'une inclinaison moyenne de 0<sup>m</sup>,0015 par mètre sur une étendue de près de 1800 mètres, et il se raccorde ensuite avec les fonds de plus de 10 mètres de la rade sous une pente de 0<sup>m</sup>,005 par mètre.

Le régime des vents dans les parages de Nieuport est caractérisé par la prédominance des vents d'ouest; les vents du nord au N.O. sont généralement les plus violents.

L'établissement du port est de 12<sup>h</sup> 20<sup>m</sup>.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau est de 4<sup>m</sup>,84. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0<sup>m</sup>,80 au-dessus de celui des basses mers de vive eau; celui des hautes mers de morte eau est à 3<sup>m</sup>,92 au-dessus de ce dernier niveau.

Dans la rade de Nieuport, la vitesse maximum du courant de flot, par des marées moyennes de vive eau, est de 1<sup>m</sup>,30, et celle du courant de jusant, de 1<sup>m</sup>,10 par seconde. La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, qui se produit vers l'instant de la haute mer, est N.E.  $\frac{1}{4}$  E.; celle du courant de jusant au moment de sa plus grande vitesse, soit vers l'instant de la basse mer, est O  $\frac{1}{4}$  S.O.

En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0<sup>m</sup>,70 et 0<sup>m</sup>,55 par seconde. La direction de ces courants, au moment de leur plus grande vitesse, ne diffère pas sensiblement de celle que l'on observe pendant les marées de vive eau.

Lorsque le vent n'intervient pas, la durée du flot est supérieure de 1 heure  $\frac{1}{2}$  environ à celle du jusant.

On peut dire que le chenal de Nieuport se maintient dans un état relativement excellent, vu l'absence complète de tout mode de curage artificiel. Il présente, à marée basse, une largeur de 20 à 25 mètres dans les parties courbes et de 25 à 35 mètres dans la partie droite. A la fin de l'été, soit à l'époque



de l'année où, par suite de l'interruption des écoulements d'eau douce, la situation du port est la plus défavorable, on sonde, dans la partie comprise entre les jetées et près de l'entrée, 0<sup>m</sup>,50 d'eau environ sous le niveau des basses mers de vive eau; la profondeur augmente rapidement vers l'amont et atteint successivement jusqu'à 1<sup>m</sup>,00 et 1<sup>m</sup>,60; elle diminue ensuite et se réduit à 0<sup>m</sup>,60 dans le coude qui s'étend devant la ville et qui sert de bassin d'échouage.

Dans la passe d'entrée, on trouve généralement de 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,40 d'eau à marée basse; les courbes des fonds de 1<sup>m</sup>,00 et de 2<sup>m</sup>,00 se tiennent respectivement à 150 mètres et à 300 mètres de la tête des jetées. Mais à l'époque des grandes sécheresses, cette passe est souvent déviée vers l'est et obstruée en partie par les sables, jusqu'à ce que les crues de l'Yser viennent rétablir la situation normale.

Si l'on compare le régime du port de Nieuport à celui du port de Dunkerque, on reconnaît immédiatement que le premier de ces ports se trouve dans des conditions bien meilleures, au point de vue de la possibilité de maintenir à l'entrée du chenal une passe suffisamment profonde, précisément parce qu'on n'y rencontre pas de ces vastes estrans plats qui caractérisent la côte française, et que les transports de sables à travers l'entrée du port y sont par conséquent moins importants.

Ainsi, l'étendue des atterrissements existant devant le chenal de Nieuport, est beaucoup moindre qu'à Dunkerque; les fonds de 3 à 4 mètres ne s'y trouvent nulle part à plus de 400 mètres de la tête des jetées, tandis qu'à Dunkerque, ils se prolongent, à l'ouest, jusqu'à une distance de 800 mètres au delà de ces ouvrages. Il est vrai qu'à Nieuport, on ne sonde que 0<sup>m</sup>,20 à 0<sup>m</sup>,40 d'eau à marée basse dans la passe extérieure et que les fonds de 1<sup>m</sup>,00 y sont situés à 150 mètres des musoirs, alors qu'à Dunkerque, des chasses artificielles d'une puissance d'un million de mètres cubes environ, lancées en trois quarts d'heure, peuvent entretenir à travers les hauts-fonds de l'entrée un goulet non interrompu de 0<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,25 de profondeur. Mais ces chasses artificielles fonctionnent pendant toute l'année, et, comme leur hauteur de chute est en outre plus grande, elles doivent produire des effets d'érosion plus prononcés que ceux résultant à Nieuport des chasses naturelles, d'autant plus que les courants de celles-ci n'arrivent à l'extrémité des jetées qu'après un parcours sinueux de plus de 4 kilomètres de longueur.

**Port d'Ostende.** — L'origine du port d'Ostende remonte à 1445. Cette année, Philippe-le-Bon autorisa les Ostendais à creuser, à travers la digue qui protégeait la ville contre les assauts de la mer, un havre pour servir de refuge



aux bateaux de pêche. Ce havre ou chenal fut ouvert à l'ouest. Mais en 1585, la ville fut entourée de fortifications et l'on rasa les dunes situées à l'est. La mer se fraya bientôt un passage de ce côté, et elle submergea à chaque marée le pays plat environnant; sous l'action de ce mouvement alternatif de montée et de descente des eaux, la nouvelle issue se creusa rapidement et c'est de cette époque que date le chenal actuel du port. L'ancien chenal, qui était d'un accès difficile et dangereux, et qui n'offrait du reste que peu de profondeur, fut abandonné vers 1600 <sup>(1)</sup>.

Ce n'est qu'à partir du XIX<sup>e</sup> siècle que les chasses naturelles, produites par l'introduction de la marée dans les parties basses situées en amont du port, furent remplacées peu à peu par des chasses artificielles avec bassins et écluses de retenue.

Actuellement le chenal extérieur du port d'Ostende présente une longueur d'environ 450 mètres; il est compris entre deux jetées à claire-voie en charpente, orientées sensiblement vers le N.O. et laissant entre elles une largeur minimum de 60 mètres; l'extrémité de la jetée est s'incline davantage vers le nord, de sorte que la largeur du chenal est de 100 mètres à l'entrée. (Pl. XXII<sup>b</sup>).

Le chenal intérieur, dirigé à peu près du N.<sup>1</sup>/<sub>4</sub>N.O. au S.<sup>1</sup>/<sub>4</sub>S.E., conduit vers l'avant-port et communique, à gauche, avec le bassin d'échouage destiné aux chaloupes de pêche.

Ce bassin a 275 mètres de longueur, 85 mètres de largeur moyenne et est entouré de murs de quai en maçonnerie. On procède, en ce moment, aux travaux nécessaires pour l'étendre de 100 mètres vers le nord, et pour modifier en même temps la disposition de l'entrée, afin de mieux préserver le bassin de la houle. Il sera construit, à cet effet, un môle à travers l'entrée actuelle, au moyen de caissons à air comprimé, de façon à ménager une ouverture de 35 mètres entre l'extrémité de cet ouvrage et l'ancien quai des bateaux à vapeur.

Plus loin et du même côté, le chenal donne accès à la crique des pêcheurs et à l'écluse d'entrée des bassins à flot; et, sur la rive droite, à l'écluse des chantiers pour le service des paquebots-poste de l'Etat, qui font la traversée entre Ostende et Douvres. Il existe aussi, de ce dernier côté, un gril servant à la réparation de ces paquebots et une plate-forme de radoub pour les chaloupes de pêche. Le nouveau quai réservé au stationnement des paquebots-poste est situé immédiatement en amont de la crique des pêcheurs.

Les bassins à flot, au nombre de trois, s'étendent derrière la ville à la suite l'un de l'autre; ils ont une superficie totale d'environ 5 hectares et sont

(1) Bouwens. *Nauwkeurige beschrijving der oude en beroemde zeestad Oostende.*



entourés de 1150 mètres de murs de quai; l'écluse d'entrée a 12<sup>m</sup>,00 de largeur, 58<sup>m</sup>,50 de longueur utile de sas, avec buscs placés à 1<sup>m</sup>,48 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau ordinaires ou (Z). Le bassin situé à l'extrémité est, communique, au pont-barrage, avec la dérivation du canal de Bruges à Ostende, qui s'embranché sur ce canal au pont de la Chapelle, à Slykens. Ce pont-barrage est fondé sur un radier en maçonnerie, reposant sur des pieux avec grillage et plancher. Le passage en est muni de deux paires de portes busquées, dont les buscs se trouvent à 0<sup>m</sup>,56 en contre-bas du (Z); celles busquées vers le canal sont munies chacune de deux vantelles.

Les portes du pont-barrage restent généralement logées dans leurs enclaves, et la même cote de flottaison est maintenue dans le canal et dans les bassins de commerce. Elles ne sont manœuvrées que lorsqu'on veut baisser séparément soit le canal, soit les bassins, ou lorsqu'on introduit la haute mer dans ces derniers pour faire passer, par l'écluse d'entrée, un navire d'un fort tirant d'eau. Dans ce cas, la profondeur peut atteindre 6<sup>m</sup>,30 dans le premier bassin, du côté de l'avant-port, et respectivement 5<sup>m</sup>,48 et 3<sup>m</sup>,78 dans les deux autres.

En temps ordinaire, la profondeur d'eau dans les bassins correspond à la flottaison du canal de Bruges à Ostende; elle mesure respectivement, pour les trois bassins, 5<sup>m</sup>,53, 4<sup>m</sup>,70 et 3<sup>m</sup>,00 en été, et 5<sup>m</sup>,27, 4<sup>m</sup>,44 et 2<sup>m</sup>,74 en hiver.

A 1400 mètres environ en amont du pont-barrage, il existe, sur la branche dérivée de ce canal, une écluse dite : *du Contredam*, ayant 12 mètres de largeur et 64 mètres de longueur de sas, avec buscs placés à 0<sup>m</sup>,55 en dessous du (Z). Elle est munie de deux paires de portes busquées vers l'aval; ces portes restent aussi généralement ouvertes et ne servent que dans le cas où l'on veut baisser les eaux dans le canal principal, et maintenir un niveau plus élevé dans la partie du canal comprise entre l'écluse et les bassins de commerce à Ostende.

L'écluse d'entrée des chantiers des paquebots-poste mentionnée plus haut, est une écluse simple de 17 mètres d'ouverture et dont les buscs sont établis à la cote 1<sup>m</sup>,50 par rapport au repère précité.

Au fond de l'avant-port se trouve l'écluse militaire qui permet le passage des navires dans l'arrière-port. Ce dernier a une longueur de près de 1350 mètres et se termine à l'amont par l'écluse de Slykens, laquelle établit la communication avec le canal de Bruges à Ostende.

L'écluse militaire a été construite en 1820 par le génie militaire du royaume des Pays-Bas. Elle se compose d'un passage de navigation de 12<sup>m</sup>,00 d'ouverture, et de deux pertuis de chasse de 6<sup>m</sup>,00 de largeur chacun. Ces pertuis sont munis d'une paire de portes de flot et de deux portes tournantes à ailerons inégaux.



Le passage de navigation se ferme au moyen d'une paire de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe; dans ces dernières, il est ménagé des vantaux tournants qui servent également à l'écoulement des eaux pendant les chasses. Tous les buscs se trouvent au même niveau et placés à 1<sup>m</sup>,50 sous le (Z).

L'écluse de Slykens présente deux passages de navigation; le premier a 10<sup>m</sup>,90 de largeur et 119<sup>m</sup>,20 de longueur utile; le second a 4<sup>m</sup>,90 de largeur et 23<sup>m</sup>,00 de longueur utile; tous deux sont munis de quatre paires de portes busquées. L'écluse comprend en outre un pertuis intermédiaire de 4<sup>m</sup>,05 de largeur, muni d'une paire de portes busquées et d'une porte tournante, ainsi que quatre larrons de 3<sup>m</sup><sup>2</sup>,86 de section chacun, manœuvrant au moyen de vannes. Ce pertuis et ces larrons sont destinés spécialement à l'écoulement des eaux surabondantes du canal de Bruges à Ostende; mais il arrive, par des crues extraordinaires, que l'on doit évacuer à la fois par le pertuis et les larrons, et par l'ouverture des deux sas. Tous les buscs de cette écluse sont établis à 4<sup>m</sup>,75 sous la cote de flottaison du canal de Bruges à Ostende, dite : *cote de XVIII pieds*, laquelle se trouve à 4<sup>m</sup>,05 au-dessus du (Z).

L'arrière-port reçoit les eaux des écluses du Camerlinckx, du Vingerlinckx et de la Noordheede, servant à l'assèchement des terres de plusieurs wateringues, d'une superficie totale de près de 25 000 hectares. Il constitue en outre le bassin de retenue de l'étage de chasse d'amont, correspondant aux pertuis de l'écluse militaire. Ceux-ci offrent un débouché effectif de 21<sup>m</sup>,20 et peuvent lancer dans le chenal environ 300 000 mètres cubes d'eau pendant les 35 premières minutes qui suivent l'ouverture des portes.

Le second étage de chasse est formé par l'écluse française, située au fond de l'avant-port, à côté de l'écluse militaire et à 1500 mètres environ de la tête des jetées. Cette écluse a été construite en 1810 et correspond à un bassin de retenue d'une superficie de 22 hectares; elle comprend deux pertuis, munis chacun d'une porte tournante à ailerons inégaux, et d'une paire de portes de flot busquées. Les buscs sont placés à 0<sup>m</sup>,45 au-dessus du (Z). Les deux pertuis ont ensemble 11<sup>m</sup>,40 de débouché utile et peuvent lancer à la mer, pendant la première heure, un volume d'eau d'environ 400 000 mètres cubes.

Dans le prolongement de l'axe du chenal extérieur et à 500 mètres environ de la tête des jetées, se trouve l'écluse du troisième étage de chasse, qui date de 1859.

Le 31 juillet de cette année, Sa Majesté le Roi Léopold I posa comme pierre commémorative, la première assise de l'arrière-bec de la pile du milieu et daigna, par un arrêté en date du 2 septembre suivant, donner son nom à la nouvelle écluse.



L'écluse Léopold a été exécutée d'après les plans de M. l'Ingénieur Crepin; elle correspond à un bassin de 18 hectares superficie et se compose de 6 pertuis; chaque pertuis a 4<sup>m</sup>,00 de largeur utile et est muni, du côté de la mer, d'une vanne et d'une porte de flot, et du côté de la retenue, d'une porte de chasse à ailerons inégaux. Les buscs sont placés à 0<sup>m</sup>,45 au-dessus du (Z). Les pertuis débitent ensemble environ 500 000 mètres cubes en  $\frac{3}{4}$  d'heure.

La puissance actuelle des chasses du port s'élève donc à un volume total de 1 200 000 mètres cubes, lancés moyennement dans le chenal en trois quarts d'heure, soit à 444 mètres cubes par seconde.

Arrivons aux données concernant le régime hydrographique de l'atterrage d'Ostende, en commençant par celles relatives au régime de l'estran situé des deux côtés du chenal, et au sujet duquel nous avons deux faits remarquables à signaler.

A l'est de la digue de mer, l'estran présente une largeur moyenne d'environ 300 mètres, avec une inclinaison variant de 0<sup>m</sup>,013 à 0<sup>m</sup>,016 par mètre, depuis la laisse des basses mers jusqu'à la laisse des hautes mers de vive eau; de l'autre côté du port, au delà du perré attenant au chenal, l'estran mesure 375 mètres de largeur environ. Mais devant la digue de mer, qui se trouve de 160 mètres en saillie sur la ligne générale des dunes et dont le talus est baigné à chaque marée montante, la laisse des basses mers continue régulièrement jusqu'au chenal du port, de sorte que la largeur de l'estran s'y trouve réduite à 180 mètres. Or, il est à noter que cette digue est indiquée sur les anciens plans de la ville, notamment sur celui de 1740, dans une situation peu différente, par rapport aux plages et dunes environnantes, de celle d'aujourd'hui, et que, déjà à cette époque, elle était défendue au moyen d'épis. Ceci prouve à l'évidence que le principe généralement admis et en vertu duquel tout ouvrage avancé, construit sur une plage de sable, doit nécessairement avoir pour effet de faire avancer, au bout d'un certain temps, la laisse des basses mers d'une quantité au moins égale à la saillie de cet ouvrage sur l'alignement des dunes, n'est pas applicable d'une manière absolue.

Un autre fait, non moins intéressant, c'est qu'il résulte de la comparaison des plans de la petite rade d'Ostende, levés respectivement en 1804 et en 1867 par M. Beautemps-Beaupré et M. Stessels, que les prolongements en mer qui ont été successivement apportés aux jetées du port d'Ostende, n'y ont provoqué aucune extension de la plage. (Pl. IX).

En 1804, le chenal du port était évasé vers l'ouest et limité de ce côté par une jetée, dont la saillie sur l'alignement de la digue de mer n'était que de



le niveau des basses mers de vive eau; dans la passe extérieure on sondait en moyenne 2<sup>m</sup>,00 à 2<sup>m</sup>,40 sur une longueur de 200 mètres environ à partir des musoirs, puis on rencontrait les fonds de 3 et de 4 mètres, dont les courbes de niveau se tenaient respectivement à 240 et à 300 mètres en moyenne de la tête des jetées.

On voit que la barre existant à l'entrée du port d'Ostende, d'une étendue sensiblement moindre d'abord qu'à Nieuport, n'est plus à comparer, en importance, à celle du port de Dunkerque; et les mêmes moyens employés pour creuser et entretenir la passe extérieure, donnent aussi des résultats beaucoup plus satisfaisants à Ostende qu'à ce dernier port. Ainsi, lorsque les chasses fonctionnaient seules, elles y réalisaient, à travers les atterrissements de l'entrée, une passe navigable offrant une profondeur supérieure de 1<sup>m</sup>,25, en moyenne, à celle qui a été atteinte à Dunkerque, par des chasses d'une puissance à peu près équivalente.

Mais ce sont surtout les résultats obtenus par le dragage qui sont remarquables.

Les premiers essais eurent lieu en 1880, du 30 juin au 24 novembre, à l'aide d'une drague à aspiration non-porteuse, appartenant aux entrepreneurs hollandais Volker et Bos. Elle se compose d'un navire en fer de 32<sup>m</sup>,50 de longueur, 6<sup>m</sup>,10 de largeur et 2<sup>m</sup>,70 de creux, portant deux pompes centrifuges, de 1<sup>m</sup>,60 de diamètre, mises en mouvement par une machine de 40 chevaux. Les tuyaux d'aspiration correspondant à chacune de ces pompes, ont 7<sup>m</sup>,50 de longueur et 0<sup>m</sup>,50 de diamètre intérieur; ils passent dans des ouvertures pratiquées de part et d'autre et parallèlement à l'axe longitudinal du navire. Les tuyaux de refoulement présentent, à leur partie supérieure, un retour à angle droit avec joint flexible en cuir; leur extrémité peut être déplacée à l'aide de palans, pour faciliter le déversement des matières aspirées dans les chalands. Mais les deux aspirateurs ne pouvaient avantageusement fonctionner ensemble, parce que la machine motrice n'était pas assez puissante et qu'il était en outre difficile de disposer un chaland de chaque côté du bateau, quand la houle était un peu forte.

Dans l'intervalle précité, l'appareil a travaillé pendant 66 jours; il a dû chômer pendant 58 jours à cause de l'état de la mer, et pendant les 23 autres jours, à cause de réparations faites au bateau et aux mécanismes. La quantité de matières extraites était de 38 000 mètres cubes, et l'accroissement de profondeur réalisée de 0<sup>m</sup>,70 environ, en moyenne, suivant l'axe du chenal.

Les dragages furent repris en octobre 1881, avec une drague du même type que l'Aurore II, représentée pl. XX. Le navire a 36 mètres de longueur,



8<sup>m</sup>,30 de largeur et 3<sup>m</sup>,30 de creux. Il porte une machine de 120 chevaux indiqués et avait enlevé, à la fin du mois de septembre de l'année suivante, 120 000 mètres cubes de déblai. La profondeur minimum obtenue sur la barre, atteignait à cette dernière époque près de 3<sup>m</sup>,00 à l'endroit le plus élevé; toutefois la passe était encore peu évasée du côté ouest.

Entretemps, il fut procédé à l'adjudication des travaux de dragage à exécuter pendant un bail de cinq années, jusqu'à concurrence d'une somme ne pouvant être inférieure à 200 000 francs par an.

Ces travaux furent commencés en octobre 1882, à l'aide du bateau-dragueur qui avait fonctionné jusqu'alors, et d'un nouveau bateau-dragueur, l'Aurore II, décrit au chapitre précédent. Depuis cette époque, l'approfondissement de la passe extérieure a continué à s'accroître d'une manière très-rapide. Au mois de juin 1884, il avait été extrait un nouveau déblai de 457 000 mètres cubes, à raison de 1,88 fr. le mètre cube, y compris le transport à 2500 mètres au large, ce qui portait à 615 000 mètres cubes, le volume total des matières enlevées par le dragage depuis le mois de juin 1880, date à laquelle commencèrent les premiers essais. La passe extérieure avait acquis, suivant l'axe prolongé du chenal, une profondeur de 6<sup>m</sup>,20 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et elle était déjà largement ouverte, tant du côté ouest que du côté est.

Le plan des sondages, dressé par M. l'Ingénieur Principal Bovie et reproduit pl. XXII<sup>b</sup>, indique la situation de l'entrée du port d'Ostende au 27 juin 1884.

En comparant cette situation à celle que présentait la passe extérieure au mois de juin 1880, et en calculant aussi exactement que possible, à l'aide des plans de sondage levés à ces deux époques, le cube de déblai qui correspond à l'approfondissement obtenu dans l'intervalle, on trouve un volume d'au moins 370 000 mètres cubes, de sorte que les apports devant l'entrée, non compris ceux qui ont été enlevés par les chasses, n'ont atteint, pendant ces quatre années, qu'un cube de 245 000 mètres environ, soit 61 000 mètres cubes en moyenne par an. On peut prévoir ainsi, qu'il suffira à l'avenir d'un dragage annuel de 60 000 à 65 000 mètres cubes pour maintenir régulièrement, avec le concours des chasses, les profondeurs actuellement réalisées dans la passe extérieure aux jetées, d'autant plus que les talus, raccordant les plages avoisinantes avec le fond de la passe, commencent à se rapprocher de leur état d'équilibre. D'autre part, il est fort probable que le prix du mètre cube de dragage, y compris le transport en mer à 2500 mètres de distance, ne sera plus, aux prochaines adjudications, que de 1,00 fr. à 1,20 fr. environ.

La quantité des apports annuels devant le port d'Ostende est donc relative—



ment faible et l'on peut dire que, grâce au régime des plages attenantes, le maintien de la profondeur à l'entrée du chenal n'y est plus une difficulté.

Ostende se trouve, sous ce rapport, dans des conditions particulièrement avantageuses et bien meilleures, on le voit, que celles que l'on rencontre à Dunkerque, et même à Calais. Ainsi, d'après les derniers renseignements que nous avons reçus de M. l'Ingénieur en Chef Guillain, le cube dragué devant Calais depuis septembre 1883 jusqu'à la fin de septembre 1884, s'élève à 200 000 mètres. La courbe des fonds de 3<sup>m</sup>,75 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires est restée à peu près stationnaire dans cet intervalle, et il y a eu un peu de gain dans le milieu de la passe. Se basant sur ce résultat, M. Guillain estime que les apports annuels devant Calais, ne sont pas inférieurs à 150 000 mètres cubes environ.

Disons, en terminant, que la composition des atterrissements de la barre du port d'Ostende est assez variable. La couche supérieure que l'on a draguée au début, se composait, sur une épaisseur de 0<sup>m</sup>,50 à 0<sup>m</sup>,60 en moyenne, de sables mobiles, d'une couleur grisâtre, et qui provenaient des apports les plus récents; la couche suivante, d'une épaisseur à peu près égale, était formée de sable mêlé de beaucoup de coquillages et offrait plus de résistance; elle était interrompue en divers points par des dépôts argileux. Puis on rencontrait du sable fin bleuâtre sur 1<sup>m</sup>,50 à 2<sup>m</sup>,00 d'épaisseur, reposant sur de l'argile ou de la tourbe. Au delà d'une profondeur moyenne de 5 mètres environ sous le niveau des basses mers de vive eau, le fond se compose généralement de sable plus ou moins vaseux. On comprend que, dans ces conditions, le rendement des dragues a dû varier beaucoup suivant l'endroit et la profondeur à laquelle elles fonctionnaient devant l'entrée du port.

**Port de Blankenberghe.** — Le port de Blankenberghe a été entièrement creusé de main d'homme. Les travaux ont été exécutés, la première partie de 1862 à 1866, et la seconde partie, de 1867 à 1872, d'après les plans et sous la direction de M. l'Ingénieur Piens. Ils ont coûté ensemble 2 millions de francs, en chiffre rond.

Ce port, qui a été construit pour recevoir les bateaux de pêche, se compose d'un chenal extérieur, d'un chenal intérieur, d'un bassin d'échouage et d'un bassin de chasse. (Pl. XXII<sup>b</sup>).

Le chenal extérieur a 350 mètres de longueur, 50 mètres de largeur et est compris entre deux jetées en charpente à claire-voie, orientées au N.O. L'extrémité de la jetée ouest s'infléchit un peu plus vers le nord, de manière à donner au chenal une ouverture de près de 100 mètres entre les musoirs. Le chenal



intérieur fait suite au chenal extérieur et est limité par des digues insubmersibles revêtues de perrés en moëllons; il communique, par un canal d'accès de 30 mètres de largeur au plafond, avec le bassin d'échouage, situé à l'est du chenal en arrière de la digue de mer. Ce bassin, de forme rectangulaire, a 120 mètres de longueur, 100 mètres de largeur, et est bordé de digues en terre avec revêtements en maçonnerie de briques; il comprend un débarcadère en charpente, établi sur la rive nord.

Au fond du chenal et à 650 mètres de l'extrémité des jetées, se trouve l'écluse de chasse, qui correspond à un bassin de retenue présentant en plan la forme d'un secteur circulaire, de près de 7 hectares de superficie. Cette écluse, dont les dimensions ont été arrêtées en prévision d'un agrandissement ultérieur du bassin de retenue, comprend 4 pertuis, ayant 4<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun et dont les buses sont placés au niveau des basses mers de vive eau ordinaires; elle lance dans le chenal environ 150 000 mètres cubes d'eau en moins d'une demi-heure. Mais les chasses sont souvent interrompues en hiver, à cause de l'évacuation des eaux de crue du canal de Blankenberghe, qui se déversent dans le bassin de retenue par une écluse à vannes comprenant 3 pertuis de 2<sup>m</sup>,75 d'ouverture chacun, et s'écoulent à la mer par l'écluse de chasse; ces eaux sont d'ailleurs peu abondantes et elles ne peuvent exercer aucun effet sensible sur la situation du chenal.

L'estran conserve, près du port de Blankenberghe, la largeur restreinte qu'il présente dans toute la partie de la côte de Belgique comprise entre Wenduyn et Heyst; cette largeur est d'environ 260 mètres depuis le pied de la dune jusqu'à la laisse des basses mers, laquelle s'arrête à l'extrémité des jetées du port.

Le régime des vents, dans les parages de Blankenberghe, est encore caractérisé par la fréquence des vents de l'O. au S.O.

L'établissement du port est de 12<sup>h</sup>,35<sup>m</sup>.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires est de 4<sup>m</sup>,52. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus des basses mers de vive eau, et celui des hautes mers de morte eau à 3<sup>m</sup>,62 au-dessus de ce dernier niveau.

Devant Blankenberghe, la vitesse maximum du courant de flot, par des marées moyennes de vive eau, est de 1<sup>m</sup>,35, et celle des courants de jusant, de 1<sup>m</sup>,25 par seconde. La direction de ces courants, au moment de leur plus grande vitesse, est sensiblement E.N.E. et O.S.O. En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0<sup>m</sup>,70 et de 0<sup>m</sup>,60 par seconde.



Malgré la faible puissance des chasses, le chenal du port de Blankenberghe présente en moyenne une profondeur de 1<sup>m</sup>,50 à 1<sup>m</sup>,80 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires; dans la passe extérieure on sonde, immédiatement en dehors des jetées, 0<sup>m</sup>,60 de profondeur au moins, et les fonds de 2<sup>m</sup>,00 et de 4<sup>m</sup>,00 ne sont éloignés respectivement que de 200 et de 250 mètres en moyenne des musoirs des jetées.

Il est à remarquer, que le chenal de Blankenberghe ne se trouve pas dans les mêmes conditions que celui des autres ports de la côte des Flandres; il est creusé à travers une plage, défendue contre les érosions de la mer par des épis en pierres et en fascinages qui s'avancent perpendiculairement à la côte et dont la longueur est à peu près égale à celle des jetées du port. Celles-ci ne pouvaient donc, en aucun cas, produire des modifications bien appréciables dans la situation de l'estran; aussi les profils de la plage, pris de part et d'autre du chenal en 1872, soit immédiatement après l'achèvement du port, comparés aux profils les plus récents, n'accusent pas de différence sensible. Et nous sommes convaincu que le prolongement de ces jetées à une distance plus considérable en mer, n'occasionnerait pas non plus un avancement prononcé de la laisse des basses mers, pas même au bout d'un grand nombre d'années.

Pour le faire voir, rappelons d'abord que depuis Wenduyne jusqu'à Heyst, la côte présente un régime hydrographique particulier et tend à être envahie par la mer, malgré l'existence des nombreux épis de défense que l'on y entretient avec soin depuis des siècles. Cette situation, comme on sait, résulte principalement de ce que les talus sous-marins qui raccordent l'estran avec la passe du Wielingen est fort raide et que, dans ces conditions, les apports de sable qui viennent nourrir la plage en temps ordinaire, ne suffisent pas pour compenser les corrosions qui y sont occasionnées pendant les grosses mers.

La côte de Blankenberghe et de Heyst n'est d'ailleurs pas une côte essentiellement sablonneuse; les couches d'argile et de tourbe y affleurent en divers points sur l'estran et sur le talus sous-marin, et le dépôt de sable qui recouvre ces couches, ne paraît pas, en général, avoir grande épaisseur.

Un fait assez saillant, et que nous mentionnerons en passant, parce qu'il prouve combien les mouvements des sables le long du rivage sont peu à redouter en cette partie du littoral, a été constaté près de l'écluse d'évacuation du canal de Schipdonck, à Heyst. (Pl. XVI. fig. 1). Cette écluse date de 1860. Les jetées qui bordent le chenal d'évacuation ont 260 mètres de longueur et sont construites en maçonnerie à la partie supérieure, et en fascinages à la partie inférieure; elles vont en s'inclinant vers le large et dépassent le niveau des hautes mers



de vive eau sur la moitié environ de leur longueur. Or, la jetée de l'ouest, quoique exposée aux vents régnants, n'a produit aucune accumulation de sable dans l'angle qu'elle forme avec la dune; l'estran y a subi, au contraire, des affouillements prononcés, à la suite desquels on a dû prolonger en sous-œuvre, de 2<sup>m</sup>,00 environ, les revêtements maçonnés de la jetée, et la charpente de fondation de ces revêtements, qui avait été établie, lors de la construction de l'écluse, à 0<sup>m</sup>,50 sous le niveau de l'estran, est aujourd'hui complètement mise à nu. On n'observe non plus aucun indice d'ensablement dans le chenal d'évacuation, qui est creusé à 0<sup>m</sup>,25 sous le niveau des plus basses mers, et l'ouverture comprise entre la tête des jetées reste toujours libre, malgré les interruptions fréquentes des écoulements d'eau.

Remarquons qu'il ne faudrait pas conclure de l'affouillement existant près de l'écluse du canal de Schipdonck qu'un amaigrissement aussi important s'est produit sur toute la plage avoisinante; cet affouillement est dû, en grande partie, à cette circonstance que les lames en retour, en descendant le long du talus maçonné de la jetée, entament plus facilement les sables au pied de ce talus.

Mais il n'en reste pas moins établi que les ouvrages avancés de la côte de Blankenberghe et de Heyst sont loin de produire un exhaussement de l'estran, contrairement à ce qu'on observe sur une plage fortement nourrie, comme celle de Dunkerque par exemple, où pareils épis provoqueraient des effets d'ensablement presque immédiats. Et si l'on analyse successivement l'action des vagues et celle des courants sous le rapport des transports de sable auxquels elles donnent lieu, on doit reconnaître que, lorsqu'on se trouve en présence d'une côte présentant ce caractère particulier, une jetée qui se prolongerait à une distance beaucoup plus considérable en mer, fût-elle complètement insubmersible, ne provoquerait pas non plus des dangers d'ensablement, pourvu qu'elle ne dépasse pas la partie inclinée de la terrasse sous-marine attenante au rivage et dont la longueur, entre Blankenberghe et Heyst, n'est que de 800 mètres en moyenne, mesurée perpendiculairement à la dune. (¹)

En effet, d'après tout ce qui a été dit précédemment sur le mode d'action des vagues, il est évident que l'ensablement que celles-ci peuvent produire près d'un ouvrage transversal à la côte, dans tous les cas où cet ensablement est à craindre, est nécessairement fort rapide au début et doit se faire sentir dès la construction d'un premier bout de jetée ou d'un épi de peu de longueur;

(¹) Rapport de la commission chargée d'examiner le projet d'établissement d'une communication directe de Bruges à la mer, page 72.



c'est un fait que l'on constate chaque fois, sur des plages en équilibre, pendant la construction de jetées nouvelles.

Quant à l'action des courants de marée, il faut considérer séparément la phase du mouvement où ces courants se propagent suivant une direction parallèle ou sensiblement parallèle à la côte, alors qu'ils acquièrent le plus d'intensité, et celle où ils passent par les étales en se dirigeant alternativement vers le large et vers la côte.

Pendant cette dernière phase, les courants ont une vitesse relativement faible, quelques centimètres à peine par seconde, et ils ne peuvent par conséquent pas tenir les sables lourds en suspension pour les porter à la partie supérieure du talus raide de l'estran sous-marin; quant aux sables extrêmement fins et aux vases, qui contiennent elles-mêmes du sable auquel elles servent de véhicule, ces matières sont trop peu denses pour ne pas être entraînées aussitôt par les lames en retour; elles ne peuvent se déposer que dans les endroits abrités, soustraits à l'agitation, ou bien dans la zone supérieure des estrans plats et allongés, où elles sont rejetées en dehors de la limite d'action des flots descendants. Aussi, sur les plages de Blankenberghe et de Heyst on ne rencontre pas de dépôts de matières vaseuses, à part les couches très-minces qui se forment pendant les temps calmes dans les affouillements plus ou moins profonds existant généralement le long des épis.

Examinons maintenant l'influence exercée par les courants de flot et de jusant au moment de leur plus grande vitesse, alors qu'ils charrient les sables du fond dans le sens de leur mouvement, en les faisant avancer lentement, et en raison seulement de l'excédant du chemin parcouru sous l'action du premier de ces courants par rapport à celui parcouru sous l'action du courant contraire.

Il est à remarquer d'abord que l'action de ces courants, dans les conditions normales, ne paraît pas exercer des effets définitifs très-prononcés sur les fonds sous-marins de notre littoral. Car nous avons vu au chapitre IV, au moyen des anciennes cartes marines, que, depuis trois quarts de siècle, les bancs et les passes de la côte, depuis Dunkerque jusqu'à l'Escaut, considérés dans leur ensemble, n'ont pas subi des modifications fort importantes. Celles-ci consistent le plus souvent dans des déplacements de sable, se produisant à la partie culminante des bancs de moins de 3 à 4 mètres de profondeur; il n'y a que certains plateaux, dont toute la crête ou une grande partie de celle-ci est située près du niveau des basses mers, où l'on observe des déplacements accentués, qui, dans ce cas, sont caractérisés par un transport des sables vers l'est, soit dans le sens des vents régnants.



Le long de la côte de Blankenberghe et de Heyst en particulier, l'estran sous-marin a peu ou point changé depuis le commencement du siècle. Or, la partie de ces fonds qui serait soustraite à l'action normale des courants, par une jetée se terminant à l'extrémité du talus attenant au rivage, dans les profondeurs de 6 à 7 mètres sous mer basse, se réduirait, de part et d'autre de cet ouvrage, à un espace triangulaire fort limité, puisque la saillie de pareille jetée ne dépasserait pas 900 mètres. Ce ne sont que les sables de cette zone qui pourraient, en dernière analyse, intervenir comme élément nuisible dans la question ; mais les mouvements de sable dans une zone aussi restreinte ne sauraient être importants, vu surtout qu'elle fait partie d'un ensemble de fonds qui, sur une grande étendue de la côte, présentent tous les caractères d'un estran affouillé ; et, en admettant qu'il en résulte, à la suite d'une période de temps calmes, une certaine accumulation près de la jetée, les lames de tempête, parfois si violentes en ces parages, viendraient détruire ces dépôts momentanés, tout comme elles affouillent actuellement l'estran près du chenal de l'écluse maritime de Heyst.

Reste l'action directe des vents sur les sables de la plage. Cette cause d'ensablement, qui peut occasionner des accumulations considérables le long d'une côte fortement nourrie, n'est pas non plus à craindre devant Blankenberghe et Heyst, grâce au peu de largeur que l'estran y présente. Ainsi, les petits épis enracinés dans les dunes, les haies en fascinages qu'on établit le long de cette plage, pour arrêter le sable chassé par le vent au pied de la dune, produisent certains résultats pendant la bonne saison ; mais les gros temps et même les grandes marées emportent rapidement le peu de sable accumulé. Il arrive même souvent, par les fortes tempêtes, que les haies et les ouvrages en fascinages, construits à la partie supérieure de l'estran, sont complètement détruits et emportés. Le travail est alors à recommencer, c'est-à-dire que, pendant l'été, on tâche de reformer un cordon littoral près du talus de la dune, pour fortifier celle-ci en prévision de nouveaux assauts de la mer.

La partie nord du littoral de Belgique, depuis Wenduyne jusqu'à Heyst, offre donc un exemple remarquable d'une plage, où l'ensablement dans les angles extérieurs compris entre la dune et les jetées d'un chenal, alors même que celui-ci déboucherait dans les fonds de 7<sup>m</sup>,00 sous marée basse, n'est guère à prévoir. Cette particularité du régime de la côte se maintient, mais d'une manière moins prononcée, jusque dans l'est d'Ostende, et les derniers prolongements exécutés aux jetées de ce port, n'y ont exercé aucune influence fâcheuse sur la situation de l'estran. Sur la côte française, de Dunkerque à Calais, le régime



des plages offre un caractère tout différent; les sables accumulés près des chenaux des ports y sont abondants, et les plages attenantes à ces chenaux ont pris partout une extension en rapport avec la longueur donnée aux jetées.

Nieuport semble occuper une position intermédiaire entre ces deux régions, et c'est sans doute à cause de cette circonstance, que l'on a quelquefois cherché à expliquer la différence de leur régime, comme étant l'effet d'une oscillation lente que subirait notre littoral autour d'un axe situé dans les environs de cette localité.

---



## CHAPITRE VIII.

### DE L'AMÉLIORATION DES PORTS EXISTANTS SUR LA CÔTE DE BELGIQUE.

#### I. — PORT DE NIEUPOORT.

La rade de Nieuport, nous l'avons vu, est non seulement la meilleure, mais aussi la seule du littoral belge offrant des avantages sérieux pour la navigation.

Elle est profonde, spacieuse et présente un bon fond d'ancrage; ses quatre passes d'accès sont orientées respectivement à l'est, au nord-est, au nord et à l'ouest. La passe de l'ouest, ou de Zuydcote, est située en prolongement de la rade de Dunkerque, laquelle est accessible en tout temps aux bâtiments du plus fort tonnage; en cas de mauvaise mer, les navires en destination pour Nieuport peuvent toujours suivre cette direction et attendre près du Hillsbank le moment favorable pour traverser le canal de l'ouest, où l'on trouve 7<sup>m</sup>,00 d'eau sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires. La passe du Nord est la plus directe et offre 8<sup>m</sup>,00 de profondeur minimum sous ce même niveau. Les passes de l'Est et du N.E. communiquent, la première avec la rade intérieure et la seconde avec le rade extérieure d'Ostende. On y sonde en moyenne 10 mètres d'eau.

La comparaison de la carte de Stessels de 1866 avec les cartes marines anciennes nous a montré d'ailleurs que la situation hydrographique de l'atterrage de Nieuport est relativement stable et que rien ne semble devoir donner lieu à des craintes au sujet du maintien des profondeurs de la rade, ni des passes d'accès de celle-ci. Le canal du Nord s'est même notablement amélioré depuis 1866, ainsi qu'il résulte des derniers sondages de M. le Lieutenant de vaisseau Petit, et cette amélioration semble devoir s'accroître encore dans l'avenir. De plus, il s'est produit près de ce canal, à l'extrémité est du Smalbank, un autre approfondissement, de sorte que l'on trouve aujourd'hui, en cet endroit, une ligne de fonds non interrompus avec 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50 d'eau à marée basse, conduisant du chenal compris entre le Buiten-Ratel et le Kwintebank vers la rade, suivant une direction sensiblement N.N.O.



Mais la rade de Nieuport paraît trop peu abritée pour permettre le stationnement prolongé des grands navires, et ceux-ci ne pourraient dès lors y attendre en sécurité l'époque de vive eau, ni y alléger, comme cela se pratique quelquefois à Dunkerque. Quoique l'expérience n'ait pas encore été faite à cet égard, il convient, pour assurer le développement du port, de lui donner une profondeur telle que les bâtiments du plus fort tonnage puissent entrer, sinon à toutes les marées, y compris les marées exceptionnellement peu élevées qui ne se présentent qu'un très-petit nombre de fois par an, au moins à toutes les marées de morte eau ordinaires.

Cherchons d'abord à déterminer cette profondeur.

Si le matériel naval a subi dans ces dernières années des transformations très-rapides et si les dimensions des navires de commerce ont constamment augmenté, on peut admettre cependant que leur tirant d'eau ne dépassera pas, en général, une limite de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,25, par la raison que la situation des passes ou entrées d'un certain nombre de ports à marée les plus importants du globe, ne comporte pas un tirant d'eau supérieur.

La passe principale de l'Hudson (Passe de Gedney), conduisant au port de New-York, est une des plus favorisées sous le rapport de la profondeur d'eau. On y trouve 7<sup>m</sup>,00 d'eau en basse mer et 8<sup>m</sup>,50 en pleine mer de morte eau.

Le chenal de plus profond à l'entrée de la Mersey a 3<sup>m</sup>,00 à 3<sup>m</sup>,50 d'eau sur la barre en basse mer de vive eau, et 9<sup>m</sup>,00 environ en pleine mer de morte eau; mais le fond des avant-ports et les buscs des écluses d'entrée des bassins à flot, à l'exception de ceux donnant accès aux nouveaux bassins du Canada, ne sont pas plus bas que le niveau des basses mers. On n'y trouve que 6<sup>m</sup>,00 d'eau au moment des hautes mers de morte eau; en pleine mer de vive eau seulement, cette profondeur atteint 8<sup>m</sup>,00 environ.

A Sunderland, la profondeur des bassins à flot, correspondant aux marées hautes de vive eau ordinaires, ne dépasse pas 7<sup>m</sup>,30.

Le nouveau bassin (Neuerhafen) du port de Bremerhafen, sur le Weser, construit en aval de Brême, pour la navigation transatlantique, a une profondeur de 7<sup>m</sup>,20 sous le niveau des hautes mers ordinaires; le bassin de l'Empereur (Kaiserhafen) en a 7<sup>m</sup>,50.

Dans les faibles marées de morte eau, le plateau sensiblement horizontal existant à l'ouverture du port du Havre, n'offre que 7<sup>m</sup>,90 d'eau au plein de la mer. Les navires de plus de 7<sup>m</sup>,00 ne sauraient alors attaquer le port et ceux qui ont ce tirant d'eau ne peuvent le tenter que si la mer est calme ou que la houle ne présente pas trop de levée. La compagnie générale transatlantique a



adopté pour ses navires, faisant le service du Havre à New-York, 7<sup>m</sup>,00 de tirant d'eau en charge à l'arrière, et il est arrivé quelquefois que certains départs ont dû être retardés d'un ou de deux jours, faute d'eau au large. (1)

La profondeur du canal de Suez, par où passe le plus grand commerce du monde, est de 8<sup>m</sup>,00; les plus forts navires qui y transitent, valent 7<sup>m</sup>,30.

Au nouveau canal d'Amsterdam à la mer du Nord, la profondeur d'eau sous le niveau de flottaison est de 7<sup>m</sup>,70.

Enfin le busc de l'écluse de 21 mètres de largeur du bassin à flot de l'ouest du port de Dunkerque, aujourd'hui le quatrième port de France, sous le rapport du mouvement commercial, est placé à 2<sup>m</sup>,00 sous la marée basse et offre 7<sup>m</sup>,45 de tirant d'eau à marée haute de vive eau seulement. Les buscs des écluses des nouveaux bassins Freycinet, en cours de construction, seront établis à 0<sup>m</sup>,50 plus bas.

Le tirant d'eau de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,25 en charge à l'arrière peut donc être considéré comme une limite qui ne pourra que fort exceptionnellement être dépassée pour les navires de commerce. Ce tirant d'eau du reste, est supérieur à celui de la plupart des vapeurs transatlantiques les plus puissants.

Pour que de pareils bâtiments puissent entrer dans le port, même quand la mer est houleuse, il faut disposer d'au moins 8<sup>m</sup>,50 (2) d'eau à l'entrée du chenal, et de 7<sup>m</sup>,60 sur le radier de l'écluse des bassins à flot, si ce point est à l'abri des lames. Il vaut mieux cependant tenir le seuil de l'écluse à la même cote, parce que dans ces conditions, les grands navires qui attaqueront le chenal au dernier moment du plein, trouveront encore une profondeur d'eau suffisante en arrivant devant l'écluse. Le niveau moyen des hautes mers de morte eau se trouvant à Nieuport à 3<sup>m</sup>,92 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau, la profondeur à obtenir dans le chenal et dans la passe d'entrée par rapport à ce dernier repère, est de 4<sup>m</sup>,58, soit en chiffre rond 4<sup>m</sup>,60; et comme l'amplitude moyenne des marées de syzygies est de 4<sup>m</sup>,84, on réalisera ainsi, en vive eau, près de 9<sup>m</sup>,50 de profondeur au plein de la mer.

L'on ne doit pas se préoccuper, au point de vue de l'entrée des navires de 7 mètres, de ce que, par des marées exceptionnellement peu élevées de morte eau, la mer ne s'élève parfois pas à plus de 3<sup>m</sup>,20 à 3<sup>m</sup>,50. Ces marées ne se présentent que rarement et elles sont généralement accompagnées de vents de

(1) *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Quinette de Rochemont.

(2) M. Michel, Inspecteur Général de la Marine, lors de l'examen du projet d'un nouveau port à Heyst, indiqua une majoration de profondeur de 1<sup>m</sup>,00, au moins, et même de 1<sup>m</sup>,30 en cas de mer houleuse ou de tempête, pour tenir compte du creux des lames dans la dépression devant conduire du Wielingen, au-dessus du plateau Het Zand, vers le port projeté.



terre, qui n'occasionnent pas de houle dans le port; de plus, les bâtiments de 7 mètres seront toujours peu nombreux. C'est ainsi qu'au port d'Anvers, il n'y a eu, en 1883, que 75 arrivages de plus de 7 mètres de tirant d'eau sur un nombre total de 3195, pour les steamers, et 8 seulement sur un nombre total de 1167, pour les voiliers; et la plupart de ces arrivages correspondent aux services réguliers de la Red Star Line sur New-York et Philadelphie <sup>(1)</sup>.

Remarquons d'autre part que l'importance du port de Nieuport est tout entière à créer, et que le commerce que l'on peut y attendre semble devoir comprendre surtout des importations et des exportations de matières premières, de graines et de produits industriels; or, la célérité des arrivées et des départs de ces transports, quoique très-importante, n'est pas d'une nécessité absolue; les navires qui arriveront par les circonstances de marée exceptionnelles que nous venons d'indiquer, pourront toujours suivre la direction de la rade de Dunkerque et y attendre, en pleine sécurité, une marée plus favorable pour traverser la passe de Zuydcote et entrer au port. Enfin, si le port de Nieuport était appelé à un grand avenir, rien n'empêcherait d'augmenter encore la profondeur à l'entrée, ainsi que nous le dirons plus loin.

Voyons maintenant quels seraient les meilleurs moyens à employer pour créer et pour entretenir, au port de Nieuport, la profondeur de 4<sup>m</sup>,60 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, niveau que nous adopterons comme repère dans ce qui va suivre.

Ainsi qu'il a été dit précédemment, le chenal actuel se termine à la laisse des basses mers de vive eau ordinaires; par suite des dépôts qui se sont formés primitivement à son débouché dans la mer, la plage y présente un accroissement de largeur de 120 mètres en moyenne. Depuis 1866, l'estran sous-marin situé entre la rade et le rivage, a notablement gagné en inclinaison devant Nieuport et dans l'est de ce port, jusqu'au delà de Middelkerke, et la courbe des fonds de 5 mètres se tient aujourd'hui, au droit du chenal, à 450 mètres environ de la laisse des basses mers.

Nous proposerions en premier lieu de prolonger les jetées à claire-voie jusqu'aux fonds de 5<sup>m</sup>,00 environ sous le repère et de creuser le chenal sur toute sa longueur, à la cote précitée de 4<sup>m</sup>,60; les jetées basses à établir au pied des fermes seraient formées de pierres d'enrochement, reposant sur le sable par l'intermédiaire de plates-formes en fascinages, et leur crête se maintiendrait, jusqu'aux musoirs, à 0<sup>m</sup>,50 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau. Nous construirions eu même temps, sur une longueur de 800 mètres de part

(1) Voir à l'annexe I, le tableau des arrivages au port d'Anvers en 1883, par catégorie de tirant d'eau.



et d'autre du chenal du port, un perré en maçonnerie de moëllons offrant une saillie moyenne de 200 mètres sur la ligne des dunes, de manière à réduire la largeur des plages avoisinant le port, à 180 mètres. Mais on doit se demander immédiatement, si le prolongement des jetées ne provoquerait pas, au bout d'un certain nombre d'années, un avancement équivalent de la plage et, en même temps, un exhaussement des fonds qui se trouvent devant l'entrée du chenal, de sorte que la situation du port, par rapport à l'estran environnant, deviendrait alors la même qu'avant, sauf qu'on aurait inutilement augmenté la longueur du chenal extérieur.

Un examen attentif de la question nous a donné la conviction que cette éventualité n'est pas à craindre.

La plage de Nieuport n'est pas caractérisée en effet, par des mouvements de sable abondants ; sa largeur moyenne ne dépasse pas 375 mètres et elle présente une configuration très-semblable à celle de la plage d'Ostende, dont le régime favorable, en ce qui concerne l'ensablement dans les angles extérieurs aux jetées, est établi par les faits de l'expérience. Devant Nieuport, l'estran sous-marin, il est vrai, a une inclinaison assez faible, mais il est formé de fonds de sable dur, qui tendent plutôt à s'approfondir, du côté est surtout, ainsi que les dernières reconnaissances hydrographiques, comparées aux cartes marines anciennes, permettent de le constater.

Dans ces conditions, l'action des vagues et des courants ne nous semble pas pouvoir produire des ensablements assez prononcés pour modifier notablement la situation de l'estran le long des jetées à claire-voie, surtout lorsque chacun de ces ouvrages se raccorderait avec un perré de longueur suffisante et s'avancant à une certaine distance sur la plage. Car les accumulations de sable dans les angles extérieurs, formés par les jetées d'un port avec la dune, résultent principalement des transports opérés par les lames et par l'action directe des vents dans l'étendue de l'estran ; si donc on se trouve sur une côte qui ne tend pas naturellement à s'exhausser, il ne semble pas que ces accumulations puissent se produire avec une certaine rapidité, lorsque la plage située près du port n'a qu'une largeur restreinte et n'est pas abondamment nourrie. Et si, en outre, on réduit cette largeur dans le voisinage du chenal, comme nous proposons de le faire à Nieuport, non seulement on soustrait le port aux sables qui sont ramenés, pendant les gros temps, des zones supérieures et du pied de la dune vers l'entrée, mais on augmente l'effet d'amaigrissement que les lames de tempête exercent sur l'ensemble de la plage près des jetées ; car, devant un perré en saillie par rapport à la laisse des hautes mers, les vagues ne peuvent plus déferler librement et rejeter



les sables en dehors de leur limite d'action; de plus, en se brisant sur le talus de pareil ouvrage, elles produisent au contraire des lames en retour intenses, qui tendent à entraîner le sable de l'estran vers la région du large.

On pourrait objecter que les jetées de Nieuport, prolongées jusqu'aux profondeurs de 5<sup>m</sup>,00 sous marée basse, s'avanceraient de près de mille mètres sur le talus actuel des dunes, et qu'une zone assez étendue de l'estran sous-marin serait par conséquent soustraite à l'action normale des courants de marée, circonstance qui est de nature à favoriser l'apport des sables près des jetées; mais il est à remarquer que les courants exercent, sous ce rapport, une influence relativement faible, comparée à celle des vagues, et qu'ils ne sont d'ailleurs pas complètement entravés dans leur marche par des jetées à claire-voie, dont la partie inférieure, jusqu'à 0<sup>m</sup>,50 environ au-dessus du niveau des basses mers, doit seule être coffrée ou bordée de digues basses.

Et si, par suite de cette cause ou encore par suite d'une série de vents soufflant d'une même région et parallèlement à la côte, un exhaussement devait se produire dans les angles compris entre les ailes en retour des perrés et de la dune, et tendre momentanément à se développer jusque devant ces ouvrages, il ne nous semble pas douteux que, dès les premiers gros temps, la plage ne s'y amaigrisse de nouveau et reprenne sa situation première.

C'est ce qui a lieu devant Ostende, et les conditions sont trop peu différentes à Nieuport, pour qu'on ne puisse s'y attendre à des résultats semblables.

Nous croyons du reste que pour les ports établis sur des côtes basses et sablonneuses, le rétrécissement de l'estran situé des deux côtés du chenal est chose recommandable, en général, au point de vue du maintien de la profondeur dans la passe d'entrée, à moins de se trouver sur une plage non en équilibre, telle qu'une anse naturelle en voie de comblement, ou sur une côte caractérisée par des transports de sable particulièrement importants, comme celles qu'on rencontre devant d'anciens estuaires déjà remblayés et qui sont précédés de vastes estrans plats. Dans ces cas, en effet, le perré en saillie serait exposé à être contourné plus ou moins rapidement par les sables. A part des circonstances de cette nature, l'endiguement des plages attenantes aux ports ne peut que produire de bons résultats, puisque celles-ci servent, pour ainsi dire, de lieux d'emmagasinement, où le sable s'accumule pendant la bonne saison pour aller obstruer le chenal à l'époque des tempêtes. Et tandis que ces apports de sable donnent d'ordinaire vite lieu à une extension de l'estran le long d'une jetée, pareil effet serait bien plus difficile à produire devant une digue avancée en mer, d'une certaine étendue, d'autant plus que l'existence même de cette digue



constituerait une cause d'amaigrissement de la plage, de nature à détruire, à chaque mer houleuse, les accumulations de sable qui tendraient à s'y former. Ajoutons que, dans certains cas, la dépense à résulter de la construction d'un perré en saillie sur la dune, serait compensée, en tout ou en partie, par la valeur du terrain que l'on aurait ainsi acquis sur le domaine de la mer.

Etant admis que le chenal soit creusé à la cote — 4<sup>m</sup>,60 par rapport aux basses mers de vive eau et qu'il soit prolongé jusqu'aux fonds de même profondeur, il s'agit d'étudier les procédés qui conviendraient le mieux pour le préserver, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des jetées, de l'envahissement des sables et des vases.

Nous proposerions, en premier lieu, d'utiliser à cet effet les chasses naturelles résultant de l'écoulement des eaux supérieures, si abondantes à Nieuport en hiver, et de les combiner avec un puissant système de chasse à l'eau de mer. Mais avant de décrire ces installations, il est nécessaire de donner quelques indications sur le tracé des jetées et sur la disposition de l'avant-port à créer le long du chenal, le tout devant évidemment être conçu d'après un projet d'ensemble, approprié aux circonstances locales.

Disons toutefois que notre intention n'est pas de nous occuper ici, d'une manière approfondie, des divers plans que l'on pourrait élaborer pour transformer le port de Nieuport en un port bien aménagé; notre but consiste spécialement à rechercher les meilleurs moyens à mettre en usage pour rendre le chenal praticable aux navires du plus fort tonnage. Aussi, les dispositions générales décrites ci-après et qui sont figurées pl. XXIV, sont simplement celles d'un avant-projet, indispensable pour l'intelligence de notre étude. Elles montrent cependant quel parti il serait possible de tirer de la situation qui se présente à Nieuport, où les terrains bas que l'on rencontre sur chacune des rives du chenal actuel et près de la ville, se prêtent avantageusement à la création de vastes bassins et de tous les ouvrages formant les parties constitutives d'un port de premier ordre.

Pour les considérations développées au chapitre V, § 1, les jetées prolongées seraient dirigées au N.O.  $\frac{1}{4}$  N; celle de l'ouest dépasserait de 100 mètres le musoir de la jetée opposée et elle s'inclinerait, à son extrémité, au N.O. Quant à la largeur du chenal, elle serait fixée à 120 mètres, dimension qui nous paraît suffisante pour les besoins de la navigation, quelque développement que le mouvement du port pourrait atteindre dans l'avenir.

L'avant-port serait creusé à l'ouest du chenal et à la même profondeur que ce dernier; il présenterait 350 mètres de longueur sur 175 mètres de largeur



et se trouverait à 1750 mètres environ de la tête des jetées, de sorte que les navires auraient le temps d'amortir leur aire avant d'arriver aux écluses des bassins à flot, en même temps qu'ils trouveraient un espace suffisant pour évoluer. La rive gauche de l'avant-port serait bordée d'un perré en moëllons, ayant une inclinaison très-faible, afin d'atténuer les effets du ressac; elle serait précédée d'une estacade avec débarcadères en charpente, pour permettre l'accostage des bâtiments. La rive droite serait également revêtue d'un perré, et se raccorderait avec le talus gauche du canal des chasses, au moyen d'un musoir en quart de cône avec estacades de garde. Les terre-pleins de ces perrés seraient placés à 2<sup>m</sup>,25 au-dessus du niveau moyen des hautes mers, soit à 6<sup>m</sup>,80 au-dessus du repère.

Par sa disposition à l'intérieur des dunes et à une distance relativement grande de l'entrée du chenal, l'avant-port offrirait sans doute le degré de calme voulu pour le stationnement des navires et leur entrée dans les écluses des bassins à flot; on pourrait, au besoin, atténuer encore la propagation de la houle dans le chenal en construisant, de part et d'autre de celui-ci, des brise-lames ou criques d'épanouissement.

En face de l'avant-port se trouverait le canal d'accès pour un bassin de pêche, lequel offrirait 250 mètres de longueur sur 100 mètres de largeur, et une profondeur d'eau de 1<sup>m</sup>,20 sous le repère. Les talus seraient revêtus de perrés; celui de la rive gauche serait précédé d'un débarcadère en charpente.

Les talus de la rive droite du chenal élargi, situés en prolongement de la jetée est jusqu'à l'entrée du bassin de pêche, auraient la même inclinaison que ceux de l'avant-port; ils seraient défendus également à l'aide de revêtements en pierres.

Arrivons au système des chasses. Afin de tirer le meilleur parti des chasses naturelles, résultant à Nieuport de l'évacuation des eaux surabondantes de la contrée, et de rendre cette évacuation complètement indépendante des chasses artificielles, de manière à ce que les unes ne puissent entraver les autres, les eaux déversées dans l'arrière-port seraient conduites tout droit vers le chenal entre deux digues insubmersibles; les bassins de retenue, destinés aux chasses à l'eau de mer, seraient creusés de chaque côté du canal formé par ces digues. (1)

(1) Ayant été chargé, en 1872, de la reconstruction des écluses de l'arrière-port de Nieuport, nous avons eu l'occasion de reprendre les études remarquables qui avaient été faites antérieurement par M. l'Ingénieur Symon pour l'amélioration de ce port.

M. Symon avait élaboré trois projets d'après des programmes différents au point de vue de l'importance à donner au port, mais comprenant tous les trois, en principe, un bassin de chasse disposé entre l'arrière-port et le chenal extérieur, et des bassins à flot installés à l'ouest.

L'avant-projet que nous avons présenté à cette époque, était conçu dans le même ordre d'idées,



Le plafond du canal d'évacuation aurait 72 mètres de largeur, dimension en rapport avec le débouché total des nouvelles écluses de l'arrière-port ; il serait établi, à son origine, au niveau des buscs de ces écluses, soit sensiblement à celui du repère ; à partir d'un point situé à 300 mètres de son extrémité, il irait en s'inclinant à raison de 0<sup>m</sup>,01 par mètre, de façon à se trouver à la cote — 3<sup>m</sup>,00 à son débouché dans le chenal.

La digue gauche se raccorderait en amont avec le perré attenant à l'écluse du Vladsloo-Ambacht, et la digue droite avec le perré attenant à l'écluse de Furnes. Ces digues seraient construites en terre ; leur crête aurait 5<sup>m</sup>,00 de largeur et se trouverait partout à 6<sup>m</sup>,80 au-dessus du repère ; les talus, inclinés à raison de trois de base pour deux de hauteur, seraient consolidés au moyen de revêtements en moëllons.

De chaque côté du canal d'évacuation serait installé un vaste bassin de retenue, destiné aux chasses artificielles. Celui établi du côté de la ville présenterait une superficie de 34 hectares ; il serait limité à l'ouest par le terre-plein de la rive droite du grand bassin à flot, et à l'est par la digue gauche du canal d'évacuation. Depuis l'extrémité amont du bassin et sur une étendue de 1000 mètres environ, le plafond serait creusé à 1<sup>m</sup>,80 au-dessus du repère ; à partir de cette distance, il irait en s'inclinant uniformément, de manière à se trouver à la cote — 3<sup>m</sup>,00 près de l'écluse de chasse. Le pied des digues serait raccordé avec cette partie du plafond, suivant une pente très-douce.

L'écluse de chasse comprendrait 4 pertuis de 5<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun, séparés par des piles de 3<sup>m</sup>,00 d'épaisseur ; elle serait fondée sur un radier en béton de 2<sup>m</sup>,75 d'épaisseur, recouvrant les têtes d'un ensemble de pieux et terminé supérieurement par un dallage en pierre de taille, dont la face supérieure se trouverait à — 3<sup>m</sup>,00 par rapport au repère.

En construisant une écluse de chasse, il importe, comme on sait, de prendre les plus grandes précautions pour empêcher que les eaux, en sortant du bassin, ne puissent affouiller le fond du chenal et compromettre la sécurité de l'ouvrage. Dans ce but il serait descendu, en aval du radier, un para fouille ou mur de garde profond en maçonnerie, à l'aide de caissons de fondation à air comprimé <sup>(1)</sup> ;

sauf que le bassin de retenue devait servir en même temps de bassin d'appel des eaux de crue de l'Yser. Mais, avec un bassin de chasse placé en amont du chenal, et communiquant directement avec l'arrière-port, on aurait ce grave inconvénient de devoir interrompre à chaque instant, pendant la saison pluvieuse, les chasses à l'eau de mer, pour opérer les évacuations d'eau de l'Yser et des canaux des wateringues. La disposition indiquée ci-dessus ne présenterait pas cet inconvénient. Nous indiquerons du reste plus loin, de quelle manière on pourrait utiliser, lors des fortes crues, les bassins de retenue latéraux comme bassins d'appel ou de secours, destinés à emmagasiner les eaux d'inondation, pendant que la marée haute empêcherait leur écoulement à la mer.

(1) Pareil mur de garde a été construit au nouveau bassin de chasse du port de Honfleur.



ce mur aurait 4<sup>m</sup>,50 d'épaisseur et serait fondé à 8<sup>m</sup>,00 sous la face supérieure du radier; il se prolongerait latéralement de manière à protéger également la partie extrême du plafond du canal d'évacuation et se raccorderait avec celui à établir en aval de l'écluse de chasse du bassin de l'est. Les arrière-radiers auraient une longueur totale de 110 mètres; le premier serait formé de pieux noyés supérieurement dans du béton, et recouvert de chapeaux transversaux avec madriers longitudinaux jointifs; le suivant serait construit en fascinages, recouverts de moëllons ou de gros blocs artificiels. La surface des arrière-radiers présenterait une inclinaison de 0<sup>m</sup>,015, de manière que son extrémité aval se trouverait au niveau du plafond du chenal, soit à 4<sup>m</sup>,60 sous le repère. Les avant-radiers seraient établis dans des conditions semblables, mais sur une longueur de 50 mètres seulement.

Pendant l'exécution des travaux que nous venons d'indiquer, il faudrait évidemment construire une dérivation provisoire conduisant de la partie amont du chenal intérieur vers le chenal extérieur. Cette dérivation, ainsi que l'aspect du plan l'indique suffisamment, pourrait être disposée à l'ouest; elle occuperait en partie l'emplacement de la route et du chemin de fer reliant Nieuport à Nieuport-Bains, et qui devraient être définitivement déplacés.

Les pertuis de l'écluse seraient munis de portes de chasse en bois à ailerons inégaux et d'un système de vannes à flot. Les portes tourneraient autour d'un poteau vertical, placé à 0<sup>m</sup>,06 en dehors de leur milieu, et s'appuieraient à leurs extrémités contre des poteaux-valets. Le poteau de rotation se composerait d'une poutre en fer; l'âme de cette poutre aurait une hauteur égale à l'épaisseur de la porte, soit 0<sup>m</sup>,60, et les semelles affleuraient les faces de celle-ci; il serait terminé par deux pivots, dont l'un correspondrait à une crapaudine, scellée dans le radier, et dont l'autre s'engagerait dans un collier fixé à une poutre en fer reposant sur deux piles consécutives. Dans le grand aileron de la porte, serait placée une vantelle, tournant également autour d'un axe vertical excentrique et tenue fermée au moyen d'un taquet.

On connaît la manœuvre de ce genre de portes: en levant le taquet de la vantelle, celle-ci s'ouvre; la pression sur le petit aileron de la porte devient prépondérante et le poteau-valet qui le retient étant en même temps dégagé, la porte tourne et se place suivant la direction du courant; on la fixe d'ailleurs au moyen de deux loquets. En fermant la vantelle, la pression acquiert plus de force sur le grand aileron, et il suffit de pousser la porte légèrement pour qu'elle reprenne naturellement sa position transversale.

Les vannes de flot seraient placées en aval des chambres des portes de



chasse; pour qu'elles ne soient pas trop larges et par conséquent d'une manœuvre difficile, il y en aurait deux pour chaque pertuis. Les culées et les piles de l'écluse présenteraient des rainures destinées à recevoir ces vannes; elles seraient reliées de ce côté par des voûtes surbaissées, dont les naissances se trouveraient à 6<sup>m</sup>,00 au-dessus du repère. Une forte poutre verticale en fer, munie latéralement de rainures correspondant à celles des piles, serait solidement fixée vers le milieu de chaque pertuis, de manière à se trouver tout près de la porte de chasse, lorsque celle-ci est ouverte. Au-dessus de la partie voûtée du pertuis, on établirait un pont de service, sur lequel serait installé le bâti en fer portant les crics de manœuvre des vannes. Lorsque le bassin de retenue serait rempli, on pourrait répartir la pression sur les portes de chasse et sur les vannes de flot. Celles-ci seraient pourvues à leur partie inférieure de vantelles permettant de vider le bassin, quand, par une circonstance quelconque, les chasses ne pourraient avoir lieu. Les avant- et les arrière-becs des piles, de même que la partie correspondante des culées, présenteraient, sur chaque face, une double ligne de rainures verticales pour poutrelles, destinées à l'établissement de batardeaux pour le cas où le radier de l'écluse devrait être visité ou réparé.

Au moyen des pertuis de chasse qui viennent d'être décrits, on pourrait lancer dans le chenal, pendant les trois premiers quarts d'heure, un volume d'eau d'environ 850 000 mètres cubes.

Le bassin de retenue et l'écluse de chasse à établir à l'est du canal d'évacuation offriraient des dispositions analogues. La surface du bassin mesurerait 56 hectares; l'écluse comprendrait 6 pertuis de 5<sup>m</sup>,00 de largeur chacun, et pourrait jeter dans le chenal, pendant les trois premiers quarts d'heure, environ 1 400 000 mètres cubes d'eau.

Pour éviter que pendant l'été, alors que les écluses de l'arrière-port restent fermées, les eaux qui s'échappent des écluses de chasse, au moment de l'ouverture des portes, ne puissent remonter dans le canal d'évacuation, on ouvrirait préalablement deux pertuis de chasse, de 4<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun, ménagés à cette fin dans la partie amont de la digue de séparation de ce canal avec le bassin de retenue de l'est.

La puissance totale des chasses artificielles, non compris celles à effectuer avec la tranche supérieure des bassins à flot et que nous mentionnerons plus loin, s'élèverait donc à 2 250 000 mètres cubes d'eau, lancés à la mer en moins de trois quarts d'heure ou à 833 mètres cubes par seconde. Ces chasses fonctionneraient évidemment pendant toute l'année et viendraient ajouter leurs effets à ceux qui résultent, pendant la saison pluvieuse, de l'évacuation des eaux supérieures.



Avec un système de curage aussi puissant, on entretiendrait sans peine la profondeur prescrite à l'intérieur du chenal; nous pensons même que son action suffirait aussi pour détruire régulièrement les apports de sable devant la tête des jetées, car, dans les conditions où le chenal se trouverait établi, ces apports ne sauraient être d'une bien grande importance. Et si leur enlèvement par les chasses n'était pas assez prompt ou pas assez complet, ou si l'on voulait plus tard augmenter la profondeur du chenal et de la passe extérieure, pour permettre aux grands bâtiments d'entrer dans le port, non seulement aux hautes mers de morte eau, mais encore pendant un temps plus ou moins long à chaque marée, il faudrait avoir recours au dragage.

Ce procédé, nous l'avons vu par les résultats obtenus à Ostende, est d'une efficacité certaine, et, quand les plages attenantes au chenal ne sont pas caractérisées par des transports de sable très-actifs, il peut donner de grandes profondeurs dans la passe d'entrée. Mais sur des côtes d'alluvion comme celle des Flandres, où les ports sont sujets à être envahis rapidement par la vase et le sable vasard, le dragage ne doit, en général, servir que de moyen complémentaire. Les chasses, par leur action régulière et facile, sont d'un emploi bien meilleur, surtout entre les jetées, où la présence de bateaux-dragueurs occasionnerait du reste une sérieuse entrave pour le mouvement des navires, et elles n'exigent qu'une faible dépense annuelle de fonctionnement et d'entretien; aussi convient-il de leur donner une puissance au moins assez grande pour qu'elles soient capables, à elles seules, de combattre les envasements à l'intérieur du chenal.

Il serait possible, à Nieuport, de faire servir les bassins de retenue latéraux comme réservoirs de secours, où les eaux de l'Yser, par des crues exceptionnellement intenses, viendraient s'emmagasiner, pendant que la marée les empêche de s'écouler à la mer, et d'employer en même temps, en été, le canal d'évacuation comme troisième bassin de chasse.

Pour réaliser ce système, on construirait en travers du canal d'évacuation, convenablement élargi à cet effet près de son extrémité, et à une distance de 250 mètres de celle-ci, une troisième écluse comprenant à sa partie centrale 2 pertuis de chasse, de 4<sup>m</sup>,00 d'ouverture chacun et, de part et d'autre de ces pertuis, 8 autres pertuis de même largeur. Ces derniers seraient séparés par des piles de 2<sup>m</sup>,75 d'épaisseur et munis d'une double rangée de portes tournantes à un vantail, les portes d'aval ou de flot s'ouvrant vers la mer et celles d'amont ou d'ebbe s'ouvrant en sens contraire. Cette écluse, dont le débouché utile correspondrait à celui des écluses d'évacuation de l'arrière-port, aurait ses buscs placés à 0<sup>m</sup>,50 sous le repère; elle serait protégée par un arrière-radier en béton



recouvert d'une maçonnerie en moëllons, lequel radier se prolongerait en pente régulière jusqu'au para fouille des écluses principales. On établirait en même temps, dans chacune des digues du canal d'évacuation, et à 200 mètres de l'extrémité amont des bassins de retenue, une écluse-déversoir, dont les seuils seraient placés à 1<sup>m</sup>,20 au-dessus du repère. Le plafond de la partie amont des bassins serait descendu à ce même niveau. L'écluse-déversoir de la digue est se composerait de 8 et celle de la digue ouest de 5 pertuis de 4<sup>m</sup>,20 d'ouverture chacun, fermés au moyen de portes tournantes à ailerons inégaux. Ces ouvrages seraient défendus par des arrière-radriers prolongés à une distance suffisamment grande dans les bassins de retenue, afin d'y prévenir les affouillements.

Voici quel serait le mode de fonctionnement du système :

Pendant la période des sécheresses, les écluses-déversoirs et l'écluse située au débouché du canal d'évacuation resteraient constamment fermées, à l'exception des 2 pertuis de la partie centrale de ce dernier ouvrage, qui seraient manœuvrés en même temps que les écluses de chasse des grands bassins, et qui lanceraient dans le chenal un nouveau volume d'eau de 250 000 mètres cubes en trois quarts d'heure.

Lors de la saison pluvieuse, quand les écluses de l'arrière-port s'ouvrent journellement, sans qu'il y ait une surabondance d'eau exceptionnelle, l'écluse du canal d'évacuation resterait complètement ouverte ; les écluses-déversoirs resteraient fermées et les bassins de chasse latéraux fonctionneraient seuls.

Enfin, en cas de crues d'été ou d'inondations extraordinairement élevées, on fermerait l'écluse du canal d'évacuation au moment où la marée montante et les eaux de l'Yser, près des écluses de l'arrière-port, se trouveraient au même niveau ; ce moment dépend évidemment de la marée elle-même, de la direction et de la force du vent, ainsi que de l'intensité de la crue. On ouvrirait alors successivement les pertuis des écluses-déversoirs, de manière à établir l'écoulement des eaux supérieures vers les bassins de chasse, préalablement vidés. Lorsque la marée serait descendue jusqu'au niveau des eaux du canal d'évacuation, on ouvrirait de nouveau l'écluse de ce canal, après avoir refermé les écluses-déversoirs. Les eaux emmagasinées dans les bassins de retenue serviraient à effectuer des chasses vers l'heure de la basse mer, et l'on refermerait les pertuis des bassins aussitôt pour répéter les mêmes manœuvres à la marée suivante.

C'est en vive eau surtout que l'utilisation des bassins de chasse comme réservoirs d'appel des eaux de crue de l'Yser serait d'un grand secours, car l'amplitude des marées empêche alors tout écoulement pendant 3 heures environ à chaque marée, même par les crues les plus intenses.



Après avoir indiqué la disposition à donner au chenal et aux réservoirs de chasse, reprenons l'exposé sommaire du plan d'ensemble que l'on pourrait suivre à Nieuport pour construire successivement, à mesure des besoins, les bassins à flot et tous les ouvrages nécessaires à l'exploitation d'un port important:

Le bassin à flot, à établir au début, aurait son origine à l'emplacement de l'ancien Long-pont et comprendrait les quais en maçonnerie existant devant la ville; il s'étendrait suivant une direction parallèle à l'axe du chenal, en offrant une largeur uniforme de 90 mètres, et se terminerait par un bassin d'évolution de 250 mètres de longueur sur 220 mètres de largeur; sa profondeur serait de 3<sup>m</sup>,75 sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, sauf dans la partie située au droit des anciens quais, dont les fondations se trouvent à 0<sup>m</sup>,50 environ au-dessus de ce repère et où le plafond ne descendrait pas plus bas.

La communication des bassins à flot avec l'avant-port serait établie à l'aide de deux écluses à sas, placées l'une à côté de l'autre. L'une d'elles présenterait 16<sup>m</sup>,50 de largeur et 125 mètres de longueur utile; l'autre, qui pourrait n'être construite que plus tard, aurait 21 mètres de largeur et 150 mètres de longueur utile. Les buses de ces ouvrages seraient établis à 4<sup>m</sup>,60 sous le repère.

Remarquons que, pour fixer la largeur des écluses, il n'y a pas lieu de se préoccuper des vapeurs à roues. Depuis quelques années, l'hélice a été partout substituée aux roues à aubes, aussi bien pour le grand cabotage et le transport des marchandises en général, que pour le service des messageries à grande vitesse et à longues distances. Les roues n'ont conservé la préférence que pour les transports rapides de voyageurs par petits navires devant avoir un faible tirant d'eau, tels que les paquebots qui font la traversée de la Manche.

En recherchant quel est le rapport entre la largeur hors d'œuvre et le tirant d'eau des navires de commerce à hélice de fort tonnage, on constate que ce rapport est généralement inférieur à 2, de sorte que, pour des bâtiments de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,25 de tirant d'eau, la largeur ne dépasse ordinairement pas 15<sup>m</sup>,00.

Les plus grands navires de commerce à voiles ou à hélice qui existent actuellement n'ont pas plus de 16<sup>m</sup>,00, de sorte qu'une largeur d'écluse de 16<sup>m</sup>,50 peut être considérée comme suffisante. C'est celle que nous proposerions d'adopter pour l'une des écluses d'entrée du bassin.

Mais il est possible que, dans l'avenir, on trouve avantage à employer, pour de courtes traversées du moins, des navires relativement plus larges. Jusqu'ici le rapport de la largeur au tirant d'eau a atteint le maximum de 2,30, dans les Paquebots américains du Pacifique, (ligne de Californie à la Chine) et dans quelques vapeurs des messageries maritimes; dans le Great-Eastern seul, il est supérieur et



s'élève à 2.76, abstraction faite des tambours. On sait que ce navire exceptionnel est à hélice et à roues; il a 210<sup>m</sup>,25 de longueur, 36<sup>m</sup>,65 de largeur hors tambours et 25<sup>m</sup>,30 hors tôles; son tirant d'eau est de 9<sup>m</sup>,15 et son tonnage de 22 500 tonnes; la puissance des machines qui mettent l'hélice et les roues en mouvement, est respectivement de 1600 et de 1000 chevaux. Toutefois, le rapport de la largeur au tirant d'eau du Great-Eastern est trop grand et ce bâtiment ne peut supporter les grosses mers en travers, sans de graves dangers. (1) On peut donc considérer le rapport de 2.76 comme une limite, qui ne paraît pas pouvoir être dépassée sans exposer les navires à des roulis dangereux, et en admettant que cette proportion soit réalisée, on obtiendrait pour des bâtiments de 7<sup>m</sup>,25 de tirant d'eau, une largeur de 20 mètres. C'est en se basant sur ces considérations que M. l'Ingénieur Guillaïn a donné une largeur de 21 mètres aux écluses d'entrée des nouveaux bassins à flot du port de Dunkerque, et nous pensons qu'il conviendrait de donner la même dimension à la plus grande des deux écluses à sas du projet. Ajoutons d'ailleurs qu'il est utile de donner aux écluses une largeur notablement plus grande que celle des navires qui la fréquentent d'habitude, afin de diminuer la résistance que ceux-ci éprouvent en pénétrant dans le sas.

Quant à la longueur utile du sas, celle de 125 mètres, proposée pour l'écluse de 16 mètres d'ouverture, dépasserait déjà la longueur de la plupart des grands navires, et si des bâtiments plus longs se présentaient exceptionnellement, ils entreraient au moment du plein, c'est-à-dire à l'étales, lorsque les portes du sas seraient librement ouvertes. Toutefois, il est préférable d'adopter pour l'écluse de 21 mètres une longueur plus grande, afin d'augmenter encore la commodité d'exploitation du bassin et de parer aussi à toute éventualité dans l'avenir. Cette longueur pourrait être fixée à 150 mètres.

Les sas seraient fermés à chacune de leurs extrémités par une paire de portes d'ebbe busquées; les portes d'aval seraient munies de portes-valets.

Dans le but d'éviter les inconvénients qui résulteraient pour les petits et les moyens navires de l'usage de sas aussi considérables, ceux-ci seraient divisés, dans le sens de leur longueur, en deux parties au moyen d'une paire de portes intermédiaires, semblables aux portes extrêmes; les compartiments du grand sas auraient respectivement 55<sup>m</sup>,00 et 83<sup>m</sup>,00 de longueur, ceux de l'autre auraient 44<sup>m</sup>,00 et 76<sup>m</sup>,00 de longueur.

Chacune des écluses présenterait deux feillures, ménagées l'une à la tête d'amont, l'autre à la tête d'aval et destinées à recevoir des bateaux-portes pour le cas où il serait nécessaire de visiter le radier ou de réparer les portes sur place.

(1) Fenoux. *Annales des Ponts et Chaussées de France*. Année 1869.



Le bassin à flot correspondant à ces écluses aurait une longueur de 1725 mètres et permettrait de réaliser un développement d'environ 3400 mètres de murs de quai; sa largeur, avons-nous dit, mesurerait 90 mètres, dimension que l'on considère aujourd'hui comme suffisante, surtout lorsqu'il existe près des écluses d'entrée un bassin d'évolution pour éviter que les grands navires ne soient forcés de sortir par l'arrière; encore cet inconvénient n'est-il pas bien sérieux. La largeur des bassins ne doit en aucun cas excéder 150 mètres; ce serait augmenter inutilement la dépense à résulter de leur creusement et perdre du terrain qu'il est préférable d'affecter à la surface des quais.

Ceux-ci doivent avoir une largeur d'au moins 60 mètres et il vaut mieux, dans les grands ports, de leur donner jusqu'à 100 mètres, afin d'avoir l'espace voulu pour y installer commodément des hangars-abris, destinés au dépôt des marchandises, des voies ferrées de chargement et de déchargement, une large voie charretière, et de réserver en outre, le long du bord du quai, une dernière bande comprenant les points d'amarrage et les engins de manutention.

Les voies ferrées se composent généralement de quatre lignes: une pour les wagons en opération, une pour les wagons vides, une pour les trains au départ et une pour les trains à l'arrivée. Les raccordements se font autant que possible suivant des courbes, sans plaques tournantes, de manière à pouvoir conduire plusieurs wagons à la fois. Pour l'embarquement des charbons, on établit d'ordinaire une installation spéciale permettant de garer des trains entiers, pendant que d'autres sont en déchargement ou prêts à partir à vide. Les voies d'exploitation des quais sont reliées à une gare maritime, dont l'étendue doit correspondre évidemment à l'importance du mouvement du port; dans cette gare, on reçoit les trains de marchandises à l'arrivée, pour les décomposer et pour trier les wagons, avant de les conduire aux quais; de même, les wagons chargés provenant de ces derniers, y sont groupés et formés en trains pour être expédiés à leur destination.

La disposition à adopter pour installer à Nieuport une gare maritime et les voies ferrées nécessaires pour l'exploitation du bassin projeté, est indiquée pl. XXIV. Les deux rives de ce bassin seraient reliées au moyen d'un pont tournant à double voie.

Une écluse à sas, établie du côté de l'arrière-port, servirait au passage des bateaux de l'intérieur que l'on voudrait charger ou décharger dans le bassin à flot. Elle comprendrait à l'une des têtes un pont tournant, lequel correspondrait à un pont fixe à construire au-dessus du canal d'évacuation, en amont des bassins de chasse; ce dernier ouvrage serait composé de trois travées de 24 mètres de largeur



chacune. Les deux ponts donneraient passage au chemin de fer d'Ostende par Nieuport à Furnes. La route pavée continuerait à passer au-dessus des ponts des écluses de l'arrière-port.

Le premier bassin à flot, complètement achevé, serait sans doute déjà de nature à satisfaire aux exigences d'un mouvement commercial important. Aussi conviendrait-il de ne construire, au commencement, que les quais de la rive est, en laissant provisoirement du côté opposé et sur une étendue plus ou moins grande, à partir des écluses d'entrée, un talus en terre consolidé par des revêtements en pierres; ce dernier devrait s'avancer partiellement dans le bassin, de façon à pouvoir fonder les quais définitifs en arrière de son emplacement.

Si, par la suite, ces installations devenaient au contraire insuffisantes, il n'y aurait qu'à creuser de nouveaux bassins à l'ouest du premier. Ces bassins, dont l'aménagement est figuré pl. XXIV, pourraient s'étendre à volonté; ils communiqueraient avec celui établi au début, au moyen d'une écluse simple. Une nouvelle écluse à sas, ou même une écluse avec sas de mi-marée, pourrait être construite plus tard sur la rive ouest de l'avant-port, pour conduire directement de ce dernier vers l'un des nouveaux bassins, convenablement prolongé et élargi à cet effet à son extrémité aval; car, dans les ports où l'affluence des navires de toute dimension est considérable et où les bassins à flot ont une grande superficie, il est utile d'avoir plus d'une entrée, ce qui permet en outre de se passer temporairement de l'un des bassins pour le cas où il arriverait un accident aux quais ou aux écluses.

La tranche supplémentaire des bassins à flot serait utilisée, pendant les marées de vive eau, à faire des chasses au moyen de vannes ménagées dans les portes des écluses, et d'aqueducs spéciaux à construire dans les terre-pleins attenants. Ces chasses auraient spécialement pour but de prévenir l'envasement de l'avant-port; le volume d'eau qu'elles lanceraient dans ce dernier, augmenterait évidemment avec l'étendue des bassins; il serait d'environ 150 000 mètres cubes pour le premier bassin projeté.

Afin de pouvoir exploiter les quais avec la rapidité et l'économie que les besoins du commerce exigent de nos jours, on doterait le nouveau port et sa gare maritime d'un outillage hydraulique du système Armstrong, comprenant tous les engins nécessaires pour le chargement et le déchargement des marchandises, pour la manœuvre des portes d'écluses, des ponts tournants, des cabestans destinés au halage des navires et des wagons, des plaques tournantes, etc.

L'emploi de ces machines se généralise de plus en plus, en Angleterre surtout, où on les rencontre même dans les ports secondaires; chaque jour encore, elles subissent des perfectionnements, et il importe par conséquent, avant



d'arrêter le projet d'une installation nouvelle, de rechercher, par une étude attentive, quelles sont, parmi les dispositions adoptées le plus récemment, celles qui semblent offrir le plus d'avantages et s'appliquer le mieux à la situation.

On trouvera, à la fin de ce volume, une note sur l'outillage hydraulique établi ces dernières années au port d'Anvers, par Sir William Armstrong de New-Castle. Cet exemple suffira pour faire ressortir les résultats particulièrement remarquables que l'on peut réaliser par l'usage des machines à eau sous pression.

Les installations du port projeté devraient être complétées enfin par la construction des ouvrages nécessaires pour la visite et la réparation des navires. Le plan indique trois formes de radoub, placées sur la rive ouest du bassin d'évolution, immédiatement en amont des écluses d'entrée du bassin à flot; la première aurait 150 mètres de longueur, 21 mètres de largeur et 7<sup>m</sup>,50 de profondeur sous la flottaison au-dessus du seuil d'entrée; la seconde 130 mètres de longueur, 16<sup>m</sup>,50 de largeur et 5<sup>m</sup>,50 de profondeur; cette cale servirait plus spécialement aux bâtiments légers; la troisième aurait 60 mètres de longueur, 12 mètres de largeur et 4<sup>m</sup>,75 de profondeur. D'autres cales sèches seraient établies plus tard dans l'un ou l'autre des bassins à flot pour autant que de besoin.

Comme les terrains longeant la rive droite du bassin de chasse de l'ouest, se prêteraient fort bien à recevoir des chantiers de construction, on pourrait, en prévision de cette éventualité, établir au fond du bassin de pêche une écluse à sas permettant le passage, dans l'avant-port, aux navires construits sur ces chantiers, et servant en même temps de forme de radoub.

L'assèchement d'une forme, placée dans de pareilles conditions, serait aussi facile que possible, puisqu'elle communiquerait d'un côté avec le bassin de pêche soumis au régime de la marée, et d'autre part avec le bassin de chasse, où la mer ne serait introduite que pendant la période des marées de vive eau.

Pour pouvoir y admettre les steamers à roues, comme ceux qui font actuellement la traversée de la Manche et qui ont au maximum 15<sup>m</sup>,00 à 15<sup>m</sup>,50 de largeur hors tambours, la forme devrait avoir, du côté de l'avant-port, une largeur de 16<sup>m</sup>,00; du côté du bassin de retenue, cette dimension pourrait être moindre, puisque les navires de commerce à voiles ou à hélice que l'on aurait à construire sur les chantiers projetés, ne dépasseraient généralement pas 12 mètres et que les navires à aubes de plus de 12 mètres hors tambours, pourraient ne recevoir leurs tambours qu'après la sortie du bassin.

Chaque tête de l'écluse serait munie d'une paire de portes d'ebbe et d'une paire de portes de flot; le sas aurait 80 mètres de longueur entre les pointes des buscs des portes extrêmes d'amont et d'aval. Ces buscs se trouveraient à 1<sup>m</sup>,30



sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, de sorte que la profondeur d'eau, à marée haute de morte eau, y serait de 5<sup>m</sup>,20, et suffisante pour les navires auxquels la forme serait destinée, ainsi que pour les navires désarmés ou légers, qui sortiraient des chantiers de construction.

Nous ne nous étendrons pas plus longuement sur l'examen des meilleures dispositions à suivre pour construire à Nieuport un grand port de commerce; ce qui précède montre clairement les avantages naturels que ce point de la côte offre sous ce rapport, et qui résultent: 1° des qualités relativement satisfaisantes de sa rade; 2° de l'abondance des eaux supérieures qui constituent des chasses naturelles, et 3° de la facilité avec laquelle on peut creuser, le long du chenal existant, de vastes bassins de retenue. A côté de ces avantages, il faut citer ceux que Nieuport possède au point de vue des communications avec les voies navigables de la Belgique et du nord de France, communications qui seront améliorées encore par l'achèvement du canal de la Lys à l'Yperlée.

La construction d'une ligne ferrée d'Ostende à Furnes et Poperinghe compléterait ses relations par chemin de fer.

## II. — PORT D'OSTENDE.

Rappelons brièvement quelle est la situation hydrographique de l'atterrage d'Ostende.

Il existe devant Ostende deux rades, séparées par le Stroombank. Au-dessus de la partie est de ce banc, on ne sonde, sur la crête, que 2<sup>m</sup>,50 à 3<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse; du côté ouest, la profondeur y varie de 3<sup>m</sup>,00 à 4<sup>m</sup>,00, en moyenne.

La rade extérieure offre 10 à 12 mètres de profondeur, sur des fonds de sable et de vase; elle n'est guère abritée et ne sert que de mouillage provisoire, où les navires attendent le moment favorable pour passer dans la rade intérieure au-dessus de l'extrémité ouest du Stroombank, et se diriger ensuite vers le port en profitant du flot.

Il résulte de la comparaison des cartes hydrographiques de 1801 et 1866, ainsi que des sondages exécutés pendant les années 1879 et 1880 par M. le Lieutenant de vaisseau Petit, que les passes et les grands fonds situés au nord de la grande rade se sont bien maintenus et que cette rade elle-même semble plutôt gagner en profondeur.

Le Stroombank, à part un léger abaissement de la crête et une tendance de rapprochement du talus nord du plateau vers le talus opposé, n'a pas subi, depuis le commencement du siècle, des modifications importantes dans la partie



située à l'ouest d'Ostende. Mais à l'est du port, il a diminué notablement en largeur et s'est allongé, suivant sa direction, au point de réduire à 360 mètres la largeur de la passe existant entre son extrémité orientale et la plage.

La petite rade d'Ostende s'étend le long de la côte, entre Middelkerke et Clemskerke; elle présente actuellement 8 à 10 mètres de profondeur depuis son extrémité ouest jusque par le travers de Mariakerke, 5<sup>m</sup>,50 à 6<sup>m</sup>,50 devant Ostende et 4<sup>m</sup>,20 à 5<sup>m</sup>,00 seulement en face de la plage de Breedene. On y trouve, dans la plus grande partie de son étendue, des fonds mous de vase et de sable vasard, d'une tenue médiocre.

Cette rade est d'un accès difficile, puisque les navires ne peuvent y entrer qu'en passant au-dessus du Stroombank, à moins d'arriver par la rade de Nieuport. D'autre part, on ne peut plus guère compter sur la passe existant entre la pointe est du Stroombank et la côte; outre que sa largeur n'est plus que de 360 mètres et sa profondeur de 4<sup>m</sup>,60 à marée basse, elle est située sous le vent du port et se trouve trop près de la côte pour être praticable en dehors des temps calmes.

L'existence de cette passe est d'ailleurs sérieusement menacée par le mouvement des sables du Stroombank. Mais ce qui est plus fâcheux, c'est l'envasement relativement rapide que l'on constate dans toute l'étendue de la partie est de la petite rade; en 1801, on y sondait, dans la partie située à l'est du méridien de Mariakerke, 6<sup>m</sup>,90 à 8<sup>m</sup>,20 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, et en 1866, 5<sup>m</sup>,60 à 7<sup>m</sup>,00 seulement; aujourd'hui la profondeur n'y est plus que de 4<sup>m</sup>,10 à 4<sup>m</sup>,70, et cet exhaussement du fond s'étend jusque devant le port d'Ostende, où l'on ne trouve que 5<sup>m</sup>,70 à 6<sup>m</sup>,40 d'eau aux endroits où les cartes de 1867 et de 1801 accusaient respectivement 6<sup>m</sup>,50 à 7<sup>m</sup>,00 et 7<sup>m</sup>,00 à 8<sup>m</sup>,20.

Nous en avons attribué la cause à l'approfondissement qui s'est produit dans la passe du N.E., conduisant de la rade de Nieuport vers la rade extérieure d'Ostende et surtout au développement, vers l'est, du Stroombank.

Dans ces derniers temps, M. Helin, Lieutenant de vaisseau de 1<sup>re</sup> classe, a émis l'idée de transformer la petite rade d'Ostende en une rade artificielle couverte, en construisant sur le Stroombank un breakwater ou brise-lames de 3700 mètres de longueur et dont les extrémités seraient relevées N.E. et O.N.O. par compas. (Pl. XXV).

Voici les avantages qui résulteraient, d'après M. Helin, de l'exécution de ce projet :

« La conséquence première, immédiate de la construction du breakwater, « serait de mettre l'entrée d'Ostende à l'abri de tous les mauvais vents du large



« et de la rendre facile et praticable en tous temps. Comme il n'y aurait plus  
« de mer sur la barre, toute la profondeur d'eau sur celle-ci serait une pro-  
« fondeur utile, puisqu'il n'y aurait plus rien à défalquer pour le creux de la lame.

« Le courant qui entretient les passes, étant devenu plus puissant, pourrait  
« donner à la petite rade des fonds de 12 à 15 mètres, comme ceux de la rade  
« de Dunkerque.

« Le port étant bien abrité en cas d'insuffisance des chasses, il serait  
« facile de draguer la barre presque sans interruption.

« Enfin, l'inspection de la carte montre clairement qu'il devrait se former  
« à l'extrémité est du breakwater, qui est incliné vers le nord, une passe profonde  
« sur le Stroombank et la digue pourrait être construite de manière à provoquer  
« la formation de pareille passe vers l'ouest.

« Des renseignements qui nous ont été donnés par des hommes compétents,  
« ayant une grande expérience des travaux maritimes, il résulte que pour une  
« longueur de deux milles marins, c'est-à-dire 3700 mètres, la dépense n'attein-  
« drait pas 20 millions.

« La surface de la rade ainsi abritée serait d'environ 40 hectares. » (1)

M. Helin cite comme exemples les rades artificielles de Cherbourg, de Plymouth et de Portland, situées toutes trois dans la Manche.

Il est à remarquer en premier lieu que la situation de ces ports ne présente aucune analogie avec celle du port d'Ostende.

La rade de Cherbourg, d'une superficie de 1500 hectares, se trouve sur une côte rocheuse et est formée de deux anses naturelles; celle de l'ouest, connue sous le nom d'anse Sainte-Anne, s'étend depuis la pointe de Querqueville jusqu'aux roches de la pointe du Homet; l'autre, comprise entre la pointe du Homet et l'île Pelée, est l'anse de Cherbourg. (Pl. XXV).

La rade est abritée, par les hauteurs qui l'environnent, des vents de l'E.N.E. à l'O.N.O. en passant par le sud; le breakwater la protège contre les autres vents. Cette magnifique digue, de 3600 mètres de longueur, est assise sur des fonds de 12 à 13 mètres de profondeur sous marée basse; elle est formée, à la base, d'un massif en enrochements de grès, provenant des environs de Cherbourg et consolidée du côté du large au moyen de gros blocs artificiels au ciment. Sur ce massif et à partir du niveau des basses mers, on a établi une couche en béton, terminée du côté nord par des caisses jointives posées en boutisses et en carreaux vers le large et remplies également de béton. Ces

(1) Helin. *Les ports du littoral de la Belgique.*



caisses, dont le fond était en toile pour se mouler facilement sur les enrochements, avaient surtout pour but de protéger l'emplacement de l'assise de fondation située en arrière. La muraille de couronnement, construite en maçonnerie à mortier avec parements en granit, a 10 mètres de largeur sur 7<sup>m</sup>,50 de hauteur, avec un parapet de 2<sup>m</sup>,50 de largeur et 1<sup>m</sup>,50 de hauteur. Elle constitue un immense monolithe, pesant plus de 200 000 kilogrammes le mètre courant, et que les flots ne peuvent plus guère dégrader. (Pl. XXX, fig. 1).

Le breakwater de Cherbourg comprend deux branches ou alignements, formant un angle obtus d'environ 170 degrés; il a sa direction générale de l'est à l'ouest, suivant la ligne qui joint la pointe occidentale de l'île Pélée à la pointe septentrionale de Querqueville. A chacune de ses extrémités se trouve une passe profonde; celle de l'est a 9<sup>m</sup>,00 de profondeur et environ 500 mètres de largeur; celle de l'ouest a 11 mètres de profondeur et 1000 mètres de largeur. Ajoutons qu'en ce point du littoral de la Manche, le fond sous-marin, composé en partie de roches schisteuses et en partie de dépôts de sable mêlé de vase, est relativement fixe; on constate tout au plus quelques mouvements de sable du côté du fort Flamand.

A Cherbourg donc, la digue sert à couvrir, du côté du large, une baie naturelle, située sur une côte de nature primordiale et peu chargée d'alluvions, et il existe à chacune de ses extrémités une passe d'accès large et profonde.

La rade de Portland se trouve également dans une anse naturelle, limitée au nord par la côte et au sud par la presqu'île de Portland, laquelle est reliée à celle-ci par la digue en galets, le Chesilbank, (Pl. XXV.) Elle a toujours présenté un bon abri contre les vents autres que ceux du S.S.E. à l'E.N.E. et c'est pour la préserver de ces derniers qu'on a construit le breakwater.

Cet ouvrage se compose d'un massif en enrochements, surmonté d'un mur en maçonnerie, dont l'assiette de fondation se trouve au niveau des basses mers, et qui s'élève jusque près de 8 mètres au-dessus de la marée haute, de manière à soustraire aux vagues les quais terminant la digue du côté du port de refuge. (Pl. XXX fig. 2). Il part de la pointe N.E. de Portland et s'avance dans une direction E.N.E. sur une longueur de 610 mètres; il tourne ensuite vers le nord, laissant une passe de 120 mètres de largeur, et se termine à une distance de 2130 mètres environ de cette passe. Le port ainsi formé comprend plus de 500 hectares de superficie, avec des fonds de 12 à 16 mètres de profondeur sous mer basse; il communique directement avec les fonds de même profondeur de la baie et est par conséquent d'un accès facile pour les plus grands navires.

Quant au port de Plymouth, il se trouve au fond d'une anse profonde



laquelle était exposée primitivement aux vents directs du large (Pl. XXV). Depuis la construction du breakwater, qui fut commencé en 1815, la partie de la baie située dans le S.E. d'une ligne droite menée de la pointe de Penlee à la pointe de Dunstone, est abritée. Cette digue a une longueur de 1550 mètres et est entièrement construite à pierres sèches et à pierres perdues; au-dessus du plan de marée basse, les pierres de la surface ont été reliées avec du ciment de Parker. (Pl. XXX, fig. 4).

A l'intérieur du breakwater, on trouve des profondeurs de 8 à 11 mètres en moyenne, sur fond de sable et coquillages ou de vase molle; il existe, en plusieurs points, des bancs de roches qui sont signalés à l'aide de bouées. La rade communique, de chaque côté de la digue, avec le restant de la baie par une large passe, où l'on sonde de 10 à 12 mètres d'eau à marée basse.

On voit que les breakwaters de Portland et de Plymouth, comme celui de Cherbourg, ont été établis dans des conditions toutes différentes de celles qui existent à Ostende, et dans un autre but d'ailleurs que celui indiqué par M. Helin.

En endiguant le Stroombank, le premier avantage que M. Helin a en vue, c'est de soustraire l'entrée du port aux vents du large, afin de la rendre praticable en tout temps et d'accroître la hauteur d'eau sur la barre en y diminuant le creux des lames.

Mais il est à observer que les navires n'en devraient pas moins continuer à passer à l'ouest du breakwater, au-dessus du Stroombank; or, quand les bâtiments ont actuellement traversé ce plateau culminant, ils n'éprouvent plus de difficultés sérieuses à se diriger vers le port; et pour ce qui est de l'entrée du chenal lui-même, nous avons vu qu'on peut y réaliser et entretenir sans peine, par le dragage combiné avec les chasses, une profondeur de 6 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau et notablement supérieure par conséquent, à celle existant sur le Stroombank. La diminution à résulter de l'endiguement de ce banc pour le creux de la lame au droit de la barre, serait donc de fort peu d'utilité, d'autant plus que ce creux resterait le même sur la partie non endiguée du Stroombank, que les navires auraient toujours à traverser.

M. Helin croit, il est vrai, que le breakwater, construit sur 3700 mètres de longueur, aurait pour conséquence de rendre les courants plus puissants, à tel point que leur action sur le fond donnerait à la rade une profondeur de 12 à 15 mètres, égale à celle de la rade de Dunkerque, et qu'en inclinant convenablement les extrémités de cet ouvrage, il se formerait, tant à l'est qu'à l'ouest de celui-ci, une passe profonde à travers le Stroombank. Mais cette supposition n'est fondée sur aucun argument et ne nous semble pas admissible.



Notons d'abord, qu'en exhaussant une partie du Stroombank jusqu'au-dessus du niveau des plus hautes mers, on serait loin de réaliser à Ostende, sous le rapport des effets à attendre des courants de marée sur les fonds sous-marins, les conditions hydrographiques qui caractérisent les abords de la rade de Dunkerque. Celle-ci est précédée de six lignes de bancs à peu près parallèles, séparés par de vastes sillons et reliés en quelques points par des plateaux plus ou moins élevés.

Nous avons vu d'autre part que cette agglomération de bancs de sable se maintient dans une situation relativement stable, et que les fonds de la rade elle-même n'ont pas changé depuis le commencement du siècle. Il serait donc bien difficile, eu égard surtout aux actions si compliquées qui interviennent dans les changements des fonds sous-marins, de dire quelle a été l'influence des bancs de l'atterrage de Dunkerque sur les sillons qui les séparent, ou réciproquement, ni de tirer la moindre conclusion de cette situation existante, en ce qui concerne les effets à résulter de l'endiguement du Stroombank sur les fonds de la petite rade d'Ostende.

Si l'on examine au contraire, sur la carte des bancs des Flandres, le mode de propagation des courants de flot et de jusant devant la côte d'Ostende, on remarquera que le gisement du Stroombank s'écarte peu de la direction de ces courants au moment de leur plus grande vitesse; l'exhaussement d'une partie du banc ne ferait que mieux séparer la masse des eaux qui circulent alternativement de l'ouest vers l'est et de l'est vers l'ouest, d'un côté dans la grande rade et de l'autre côté dans la petite rade d'Ostende, et il n'aurait évidemment pour résultat ni d'augmenter le volume, ni d'accroître la vitesse des eaux qui se propagent, à chaque marée, au-dessus des fonds de la petite rade.

La construction d'un breakwater sur le Stroombank ne saurait par conséquent exercer aucune influence favorable sur la profondeur de celle-ci.

Il ne nous semble pas non plus qu'il y ait quelque raison pour croire à la formation d'une dépression dans le Stroombank, à chacune des extrémités du breakwater. Considérons l'extrémité est, par exemple, que M. Helin propose d'incliner à cet effet vers le nord; il est possible que les eaux qui, pendant le flot, longeraient la digue au sud et s'épancheraient vers le large en suivant cette partie inclinée de l'ouvrage, y produiraient un certain affouillement sur la crête du Stroom; mais les courants qui se propageraient le long du talus nord de la digue, en rencontrant l'extrémité saillante de celle-ci, donneraient aussi lieu à des remous et pourraient fort bien occasionner des modifications en sens contraire.

Enfin, il ne faut pas perdre de vue que les courants de marée de notre



littoral sont animés d'un mouvement giratoire; le courant de flot, après avoir atteint son maximum de vitesse, s'incline peu à peu vers le nord et étale vers cette région. Si l'on élevait sur le Stroombank une digue d'une certaine longueur, les eaux entraînées par ce courant à l'intérieur de la rade, seraient contrariées dans leur marche au moment d'étaler vers le large et elles déposeraient, près de la partie endiguée du plateau, une certaine quantité des matières vaseuses qu'elles tiennent en suspension; ces dépôts seraient repris, puis emportés sans doute, en partie plus ou moins grande, vers l'ouest par les eaux du courant de jusant, quoique celles-ci puissent s'engager beaucoup moins librement dans la rade intérieure que les eaux du flot, par suite de la configuration du Stroombank et de la section rétrécie de la passe de l'Est. Mais comme devant Ostende le transport des vases est très-abondant et que les fonds de la rade intérieure, d'une profondeur déjà très-faible, s'exhaussent naturellement, il est à craindre que la construction d'une digue sur le Stroombank n'aggrave la situation, plutôt que de l'améliorer.

La petite rade d'Ostende, on doit le reconnaître, ne possède donc aucunement les qualités nécessaires pour être transformée en une bonne rade couverte, savoir : d'être suffisamment profonde et d'offrir des passes d'accès praticables en tous temps aux grands navires; d'un autre côté, et contrairement à l'opinion de M. Helin, l'endiguement du Stroombank, n'est pas de nature à pouvoir exercer une influence sur le régime des courants de manière à obtenir, par l'action naturelle de ces derniers, une amélioration quelconque dans la situation des fonds de cet atterrage.

Disons, en passant, que la question d'établir un breakwater devant une côte basse et ouverte, mais précédée de fonds sous-marins à pente relativement régulière, comme ceux que l'on rencontre le long de la côte néerlandaise, a été discutée à propos de l'établissement de plusieurs ports nouveaux, soit pour créer le long du rivage un refuge à pleine profondeur d'eau constituant le port lui-même, soit simplement pour protéger l'entrée d'un havre fermé. Quoique ce système ait eu de nombreux partisans, il n'existe, que nous sachions, aucun exemple de port construit dans l'une ou l'autre de ces conditions.

D'après les défenseurs d'un port formé au moyen d'un brise-lames parallèle à la côte et convenablement disposé par rapport à la direction des courants, on éviterait ainsi les dangers d'ensablement des passes d'entrée et de la surface abritée elle-même, laquelle serait en outre plus grande que celle d'un port fermé, de même coût.

Mais on craint avec raison que l'espace couvert par une digue parallèle



n'offre pas une eau suffisamment calme pour permettre aux navires d'y stationner en sécurité et de communiquer avec le rivage au moyen de môles perpendiculaires à celui-ci, ou de toute autre manière. Par des vents intenses soufflant parallèlement à la direction de la côte, il se produirait sans doute une houle dangereuse à l'intérieur du breakwater, surtout quand le vent et le courant agiraient en sens contraire; par des vents de tempête, dirigés normalement au brise-lames, les vagues déviées entreraient par les larges passes existant de chaque côté de celui-ci et il serait difficile de prévoir quelle longueur il faudrait donner au breakwater, pour empêcher qu'elles ne se rencontrent dans l'étendue du port.

Récemment cependant, la compagnie anglaise du South-Eastern, voulant créer à Ostende un débarcadère pour des steamers ayant au moins 5 mètres de tirant d'eau et destinés à un service de malles-postes à établir entre la Belgique et l'Angleterre, a repris l'idée de construire une digue sur le Stroombank.

D'après ce projet, la jetée de débarquement serait placée en pleine mer et de façon à être protégée par le breakwater (Pl. XXV). La ligne du chemin de fer d'Ostende serait prolongée à partir de la station et conduite au-dessus d'un pier en fer à claire-voie, placé normalement à la côte, à 1400 mètres dans l'est du chenal du port; à une distance en mer de 1350 mètres à partir de la plage, ce pier présenterait un tronçon recourbé à angle droit, de 600 mètres de longueur, et raccordé par une partie intermédiaire en arc de cercle, de 300 mètres de rayon. C'est ce tronçon extrême qui constituerait la jetée de débarquement; la longueur du breakwater était fixée à 2350 mètres.

Dans notre opinion, pareil débarcadère, construit à Ostende, offrirait de sérieux inconvénients, et il ne serait pas d'une exploitation sûre et commode, malgré la dépense considérable à laquelle il donnerait lieu.

Le pier en fer couperait entièrement l'accès du port du côté est, ce qui serait regrettable, surtout pour la navigation des bateaux de pêche. Aujourd'hui les pêcheurs attaquent le port des deux côtés, tandis qu'ils seraient forcés alors, quels que soient le vent ou la marée, d'entrer en rade à l'ouest. D'autre part, il est peu probable que les steamers trouveraient, à l'abri d'un môle de longueur aussi restreinte, le calme nécessaire pour pouvoir accoster la jetée sans danger par les mauvais temps, et ils ne sauraient dans tous les cas atteindre celle-ci qu'après avoir traversé à l'ouest le Stroombank, où il n'y a que 3<sup>m</sup>,00 à 4<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse, à moins d'arriver par la rade de Nieuport. Enfin, la profondeur de la rade intérieure d'Ostende, au droit du débarcadère projeté, est déjà fort restreinte, 5<sup>m</sup>,50 à peine sous le niveau moyen des basses mers de vive eau, et le régime de l'atterrage d'Ostende doit faire craindre que cette profondeur ne diminue encore à l'avenir.



Si l'on voulait absolument améliorer la rade intérieure d'Ostende, ainsi que les conditions d'accessibilité de celle-ci, la première chose à faire, d'après nous, consisterait à creuser, par le dragage, une passe suffisamment ouverte à travers la partie est du Stroombank. En donnant à cette passe une profondeur d'au moins 6<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers de vive eau et une largeur d'environ 1000 mètres entre les lignes AB et CD, on se rapprocherait déjà de la situation naturelle que la rade présentait au commencement du siècle, alors que les courants de marée pouvaient s'y propager plus librement, et y entretenaient des profondeurs de 7 à 8 mètres sous le niveau des plus basses marées<sup>(1)</sup>. Il y a tout lieu de croire, qu'après l'exécution de ce travail, les fonds mous situés devant Ostende et dans l'est de ce port, s'approfondiraient de nouveau peu à peu sous l'action de la masse d'eau beaucoup plus considérable qui circulerait alors entre le Stroombank et la côte, et il paraît tout au moins certain que l'envasement qui s'y produit actuellement, s'arrêterait. La nouvelle passe constituerait en outre une bonne voie d'accès pour les navires qui voudraient, par des circonstances favorables de vent et de marée, attaquer le port de l'est.

La carte hydrographique de 1880 indique pour la partie du Stroombank qu'il s'agirait de draguer, un fond de sable; la même composition se maintient sans aucun doute sur toute la profondeur à laquelle le banc devrait être abaissé en cet endroit, puisque le plateau y correspond à un allongement qu'il a subi de ce côté depuis 1804, époque à laquelle le plan de l'atterrage d'Ostende a été levé par M. Beauteemps-Beaupré. Le creusement de la passe exigerait un déblai que l'on peut évaluer approximativement à 8 millions de mètres cubes, en tenant compte de l'excédant de déblai qu'il faudrait exécuter pour raccorder, suivant un talus très-doux, le fond de la passe avec les fonds voisins. En présence de l'importance de ce cube, et eu égard aussi à cette circonstance que l'on pourrait faire fonctionner, pour son enlèvement, plusieurs dragues à la fois, il est probable que le prix du mètre cube de matières draguées ne s'élèverait pas à plus de 1 franc, y compris leur transport dans les fonds situés au nord de la grande rade.

Mais il est une difficulté avec laquelle il s'agirait de compter : C'est le mouvement des sables du Stroombank même; car, comme rien ne serait changé dans le régime de la partie du banc située à l'ouest de la dépression à creuser, il semble hors de doute que les sables de ce plateau continueraient à marcher vers l'est, et viendraient envahir la nouvelle passe, tout comme ils ont

(<sup>1</sup>) Voir pl. IX, plan de la petite rade d'Ostende, levé en 1804.



envahi celle qui existait en 1804. Pour empêcher que pareil effet ne se produise, nous proposerions de creuser, tout autour de l'extrémité EAB du plateau, un sillon d'une profondeur de 8 mètres environ sous le niveau des basses mers, et d'y établir une digue en enrochements dont la crête s'élèverait jusqu'à ce dernier niveau et qui serait défendue, du côté de la rade intérieure, par des blocs artificiels de grande dimension. Cette digue serait destinée à maintenir, de ce côté, les sables du Stroombank, de manière que ceux-ci ne pourraient se mouvoir que du côté de la grande rade, en augmentant l'étendue du talus suivant lequel il se raccorde avec les fonds de celle-ci. Elle serait signalée, de même que la passe, au moyen d'un feu flottant et de bouées.

Persévérant dans cette voie, on pourrait creuser ensuite une seconde passe KL, MN, à travers la partie ouest du Stroombank, à peu près à la hauteur du village de Middelkerke, afin de permettre aux grands bâtiments de se rendre directement de la grande rade dans la rade intérieure. Elle devrait être dirigée à l'E.  $\frac{1}{4}$  S.E. et offrir une largeur d'environ 500 mètres sur une profondeur de 7<sup>m</sup>,00 au moins sous le niveau des basses mers de vive eau; il faudrait la signaler également à l'aide d'un balisage et d'un éclairage flottant; son creusement nécessiterait un nouveau déblai de près de 5 millions de mètres cubes de sable. L'envahissement de cette passe par les sables de la partie ouest du plateau, nous semble du reste moins à craindre que pour l'autre passe; car de ce côté, le banc n'est pas si élevé d'abord et il est formé de fonds durs de sable, qui tendent plutôt à s'approfondir naturellement. Si cette prévision était contredite par les faits, il faudrait encore endiguer convenablement les talus de la partie du banc limitant la passe à l'ouest.

Le creusement des passes que nous venons d'indiquer, constituerait sans doute un travail extrêmement coûteux, mais ce serait, à notre avis, le seul dont on puisse espérer un bon résultat pour l'approfondissement de la petite rade d'Ostende, et il réaliserait en même temps des conditions d'accès commodes pour les grands navires.

L'amélioration d'une rade foraine ou la création d'une rade couverte artificielle sont d'ailleurs toujours chose fort difficile, et même chanceuse au point de vue du résultat à obtenir, à moins de se trouver dans des conditions particulièrement favorables, comme celles qui s'offraient à Cherbourg et à Portland; et l'atterrage d'Ostende ne se trouve certainement pas dans ce cas.

AMÉLIORATION DU PORT. — Le port d'Ostende est le seul de notre littoral qui soit doté d'une série d'installations maritimes d'une certaine importance et d'un système de chasses artificielles relativement puissant. Nous avons vu, au chapitre précédent, qu'à l'aide de ces chasses, combinées avec le dragage, on a



pu, sans difficulté, réaliser dans la passe extérieure aux jetées, une profondeur de 6 mètres sous le niveau des basses mers de vive eau et que cette situation pourra être maintenue moyennant un dragage annuel relativement peu important. Cette profondeur suffit pour permettre l'entrée des navires de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,25 de tirant d'eau à toutes les marées, même par une mer houleuse, puisque le niveau moyen des hautes mers de morte eau se trouve à 3<sup>m</sup>,68 au-dessus du (Z) et que les hautes mers les moins élevées ne descendent que rarement en dessous de la cote + 3<sup>m</sup>,00.

En présence de ce résultat, il n'y a pas de doute possible, et c'est en continuant dans la voie adoptée, depuis 1880, c'est-à-dire en suppléant à l'insuffisance des chasses par le dragage, que l'on pourra le plus sûrement entretenir la profondeur voulue à l'entrée du port d'Ostende. Toutefois il conviendrait, d'après nous, de prolonger en outre les jetées jusqu'à la ligne régulière des fonds de 4 mètres environ sous marée basse, afin de diminuer l'étendue de la passe qu'il s'agit de maintenir ouverte, à travers l'estran sous-marin, jusqu'aux fonds naturels situés à la profondeur de celle-ci, et de mieux préserver cette passe de l'envahissement des sables à provenir des plages avoisinantes. Car quoique, devant Ostende, le transport de ces sables ne soit pas important, il y a cependant avantage à adopter la disposition proposée, en vue des apports brusques qui peuvent se produire en hiver, par les tempêtes violentes du N.O.

D'autre part, il n'est pas à craindre, nous l'avons montré précédemment, que le prolongement des jetées fasse avancer d'une manière notable la laisse des basses mers, et le danger d'ensablement serait paré davantage encore, si l'on rétrécissait la plage de l'est, au moyen d'une digue en saillie, semblable à celle existant à l'ouest.

Enfin, l'allongement du chenal ne pourrait qu'améliorer les conditions de navigabilité de ce dernier, puisque la distance entre la tête des jetées et l'avant-port serait portée ainsi à 1600 mètres environ, et que cette plus grande longueur de parcours permettrait mieux aux navires de perdre leur aire à l'arrivée.

Nous proposerions aussi, comme pour le port de Nieuport, de donner au chenal une largeur de 120 mètres, et de faire avancer le musoir de la jetée ouest de 100 mètres par rapport à celui de la jetée est. L'élargissement du chenal pourrait se faire en reconstruisant cette dernière jetée, et en déplaçant la digue de raccordement reliant la jetée opposée aux quais du bassin d'échouage.

La puissance des chasses dont on dispose actuellement à Ostende et qui correspond à un volume d'eau de 1 200 000 mètres cubes, lancé moyennement en  $\frac{3}{4}$  d'heure, va être beaucoup augmentée par l'exécution d'une série de



travaux nouveaux, faisant partie d'un projet d'ensemble très-complet, élaboré ces dernières années par M. l'Ingénieur Symon. Ces travaux comprennent principalement la construction d'une écluse avec sas de mi-marée, destinée à établir la communication entre l'avant-port et un nouveau bassin-canal, qui se prolongera jusqu'au canal de Bruges à Ostende et comprendra une seconde écluse à sas, placée près du coude de raccordement avec ce dernier. Ce bassin-canal constituera une voie plus profonde et plus facile que le canal de dérivation existant, lequel sera supprimé.

A côté de l'écluse avec sas de mi-marée, il sera établi une nouvelle écluse de chasse en remplacement de l'écluse française, dont le bassin de retenue sera agrandi du côté ouest.

On pourra en outre, pendant les marées de syzygies, utiliser la tranche d'eau supplémentaire du nouveau bassin-canal, et former un quatrième étage de chasses au moyen de vannes et d'aqueducs à ménager respectivement dans les portes et les terre-pleins de la nouvelle écluse d'entrée; comme ce dernier bassin aura par la suite une étendue d'environ 20 hectares jusqu'à l'écluse à sas à construire au coude de raccordement avec le canal d'Ostende à Bruges, le volume d'eau disponible sera de plus de 150 000 mètres cubes et pourra être lancé dans l'avant-port, sous une charge d'eau moyenne de plus de 5 mètres.

Le système des chasses, ainsi complété, sera sans doute suffisamment efficace pour préserver le chenal intérieur et l'avant-port des envasements, et d'y entretenir constamment une profondeur de 5<sup>m</sup>,00 à 5<sup>m</sup>,50 sous le niveau des basses mers de vive eau ordinaires, profondeur qu'il faudrait y réaliser au début par le dragage, et qui serait en rapport avec celle de la passe extérieure; et si toutefois, par suite de la distance à laquelle se trouvent les étages d'amont, l'action des courants n'était plus assez intense près de la tête des jetées, il n'y aurait qu'à augmenter la puissance de l'étage d'aval, en agrandissant le bassin de retenue de l'écluse Léopold et cette écluse elle-même. La situation s'y prête d'autant mieux que cette extension, donnée aux chasses de l'étage d'aval, répondrait fort bien à l'élargissement proposé pour le chenal.

### III. — PORT DE BLANKENBERGHE.

Le port de Blankenberghe ayant été construit pour recevoir les bateaux de pêche, tous les ouvrages qu'il comprend ont été établis en vue d'y maintenir une profondeur de 1<sup>m</sup>,00 seulement sous le niveau des basses mers de vive eau. Ce but a été atteint en ce qui concerne le chenal intérieur, où l'on sonde, à marée



basse, 1<sup>m</sup>,10 au moins et jusqu'à 2<sup>m</sup>,25 d'eau; dans la passe extérieure, la profondeur minimum n'est que de 0<sup>m</sup>,60; mais il est à remarquer que les chasses, outre qu'elles doivent souvent être interrompues pour permettre l'écoulement des eaux du canal de Blankenberghe, sont extrêmement faibles, par suite du peu d'étendue du bassin de retenue, lequel n'en mesure que 7 hectares. L'écluse de chasse ayant été construite en prévision d'une extension future de ce bassin, il suffira, pour assurer la profondeur prescrite à l'extérieur de la tête des jetées, d'agrandir ce dernier de quelques hectares et de faire déboucher le canal de Blankenberghe directement dans le chenal par une écluse à vannes.

Quant au bassin d'échouage, il est sujet aux envasements, comme tous les bassins du reste, qui, sur nos côtes, communiquent librement avec la mer et ne possèdent aucun mode de curage soit naturel, soit artificiel. L'importance des apports varie évidemment dans les différents ports, selon le régime de l'atterrage où ils sont établis; pour un même port, elle augmente avec la profondeur et avec la calme relatif de l'eau à l'intérieur du bassin.

Le long de la côte des Flandres, nous l'avons vu précédemment, les eaux de la mer contiennent beaucoup de vase en suspension, de sorte que l'envasement des bassins et de tous les espaces abrités, où la marée s'introduit régulièrement, y est fort rapide. Ainsi, le bassin d'échouage du port de Blankenberghe, après avoir été recreusé, en 1877, de manière que son plafond se trouvât, au mois de juin de cette année, à un mètre sous le niveau des basses mers de vive eau, s'était envasé à nouveau de plus de 90 centimètres dès l'année suivante.

Pour remédier à cet inconvénient, et pour refouler les vases fluides à mesure qu'elles se déposent dans le bassin, c'est encore le système des chasses qu'il convient d'appliquer dans ce cas; il se réaliserait sans grande dépense en étendant le réservoir de retenue en arrière de ce bassin et en établissant des pertuis de chasse dans la digue limitant ce dernier à l'est. Nous proposerions de construire, au milieu de cette digue, un double pertuis de 7<sup>m</sup>,50 d'ouverture totale, avec radier placé à 1<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers de vive eau; chaque ouverture serait munie d'une porte tournante à ailerons inégaux, placée du côté amont, et d'une vanne de garde, placée du côté aval; celle-ci comprendrait, à la partie inférieure, deux vantelles de 1<sup>m</sup>,00 de largeur sur 0<sup>m</sup>,80 de hauteur, susceptibles d'être manœuvrées séparément.

Le double pertuis central ne fonctionnerait qu'à certains intervalles et pour autant que de besoin; il lancerait dans le bassin d'échouage toute la tranche d'eau utile du réservoir de retenue, de façon à maintenir dans la zone centrale de ce bassin, ainsi que dans le canal d'accès, une profondeur supérieure à la profondeur



prescrite et qui provoquerait l'affluence des vases des zones latérales. Afin d'activer le mouvement de ces vases, un aqueduc de chasse, comprenant 3 ouvertures ayant chacune 0<sup>m</sup>,75 de largeur sur 1<sup>m</sup>,00 de hauteur, serait placé près de chaque extrémité de la digue de fond du bassin; ces pertuis, dont le radier se trouverait également à 1<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers de vive eau, seraient munis de simples vannes, manœuvrées à l'aide de crics.

Pendant les marées où les chasses s'opèreraient dans le chenal par l'écluse existante au fond de celui-ci, les deux grands pertuis du bassin d'échouage resteraient fermés; les vantelles ménagées dans les vannes de garde et les aqueducs latéraux fonctionneraient seuls et constitueraient l'étage de chasse d'amont.

Le port de Blankenberghe, après l'exécution des travaux complémentaires dont nous venons d'indiquer les dispositions générales, serait praticable, au plein de la mer, pour des navires ayant jusqu'à 4<sup>m</sup>,50 de tirant d'eau; actuellement il reçoit de temps en temps, des steamers d'un tirant d'eau de 3<sup>m</sup>,70 à 4<sup>m</sup>,00.

Quant aux chaloupes de pêche qui viennent s'y réfugier, celles de Dunkerque et d'Ostende ont environ 2<sup>m</sup>,20 de tirant d'eau, tandis que les chaloupes de Blankenberghe, qui sont construites en vue de l'échouement sur l'estran, sont à varangues plates et sans quille, et n'ont que 0<sup>m</sup>,70 d'enfoncement. Ces dernières échouent encore fréquemment sur la plage, chaque fois que le temps est calme et qu'elles se disposent à reprendre le large dès la marée suivante.

---



## CHAPITRE VIII.

### DES PORTS EN EAU PROFONDE. — PROJET D'ÉTABLISSEMENT D'UN NOUVEAU PORT SUR LA CÔTE DE HEYST.

#### I. — DES PORTS EN EAU PROFONDE.

Le matériel naval, on le sait, a subi dans ces derniers temps des transformations très-rapides, caractérisées surtout par la substitution des bateaux à vapeur aux navires à voiles et par l'accroissement constant du tonnage de ces bateaux.

Les forts bâtiments à voiles ne mesuraient autrefois pas plus de 50 mètres de longueur et 800 tonneaux de jauge; aujourd'hui les grands steamers transatlantiques ont jusqu'à 130 mètres de longueur et 7 mètres de tirant d'eau, avec un tonnage qui dépasse souvent 3000 tonneaux. Et ces dimensions tendent encore à augmenter, parce que les frais de transport des marchandises diminuent en employant des navires de plus grandes dimensions. Ceci résulte de ce que la puissance de propulsion et la quantité de charbon consommé pour atteindre une vitesse déterminée ne croissent que comme le carré d'une dimension, tandis que la capacité pour le chargement augmente plus rapidement que le cube de cette dimension <sup>(1)</sup>.

On trouvera à l'annexe I de notre ouvrage, le tableau de la flotte de la *Red Star Line* <sup>(2)</sup>; le paquebot *Westerland* qui en fait partie, est un des plus grands steamers transatlantiques existants. Il a 139<sup>m</sup>,60 de longueur, 14<sup>m</sup>,33 de largeur, 10<sup>m</sup>,73 de creux, 7<sup>m</sup>,92 de tirant d'eau en charge, et un tonnage de 5260 tonnes. Ces dimensions ne sont dépassées que pour quelques rares colosses, tels que :

Le City of Rome	qui a	170 <sup>m</sup> ,75	de longueur,	15 <sup>m</sup> ,95	de largeur,	11 <sup>m</sup> ,28	de creux et un tonnage de	8144	tonnes.
L'Aurania	»	143 <sup>m</sup> ,25	»	17 <sup>m</sup> ,37	»	11 <sup>m</sup> ,89	»	7500	»
L'Alaska	»	132 <sup>m</sup> ,40	»	15 <sup>m</sup> ,24	»	11 <sup>m</sup> ,58	»	6932	»
La Normandie	»	140 <sup>m</sup> ,00	»	15 <sup>m</sup> ,24	»	10 <sup>m</sup> ,45	»	6062	»

<sup>(1)</sup> Boulvin. *Annales de l'association des ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand*. Année 1882-1883.

<sup>(2)</sup> Ce tableau est emprunté au mémoire de M. Boulvin.



Le répertoire général de la marine marchande de tous les pays, publié par le bureau Véritas, constate au 1<sup>er</sup> juillet 1883, un effectif total de 55 838 bâtiments, représentant un tonnage brut de 22 879 973 tonneaux dont 7764 navires à vapeur, participant à eux seuls pour 9 232 096 tonneaux.

Cette révolution dans le matériel naval et aussi les besoins de célérité et de régularité qui s'introduisent chaque jour davantage dans les habitudes du commerce et de l'industrie, ont exercé une grande influence sur l'aménagement des ports.

Anciennement, la profondeur paraissait suffisante lorsqu'elle permettait de recevoir les navires de fortes dimensions à l'époque des marées de vive eau seulement; à mesure que la navigation à vapeur a pris de l'extension, on a senti le besoin de rendre les grands ports, et même les ports secondaires, accessibles en morte eau. Aujourd'hui, les exigences du commerce sont devenues telles, qu'en Angleterre, comme en France et en Hollande, on fait tous les efforts et l'on s'impose les plus lourds sacrifices, pour créer et maintenir des ports *en eau profonde*, accessibles en tout temps et à toute heure de la marée aux bâtiments du plus fort tonnage.

La question d'établir un pareil port sur la côte de Belgique, à Heyst, a été soulevée récemment par M. de Maere-Limnander <sup>(1)</sup>. Avant d'examiner jusqu'à quel point et dans quelles conditions la réalisation de ce projet nous paraît possible, nous allons donner une description succincte de quelques ports *en eau profonde* qui ont été construits ou projetés, dans le même ordre d'idées, chez nos voisins du sud, du nord et d'outre-Manche.

Nous parlerons successivement du port de Boulogne en France, des ports d'Ymuiden et du Helder en Hollande, Douvres en Angleterre, Kingstown et Howth en Irlande, et nous tâcherons de déduire, des observations faites et des résultats obtenus à ces ports, des renseignements utiles pour l'étude du projet qui nous occupe. Toutefois, disons dès maintenant, que ce n'est qu'avec la plus grande circonspection que l'on peut chercher à établir des points de comparaison entre des ports situés sur des côtes de nature et de régime différents; il faut bien se garder surtout de tirer des conséquences trop absolues des résultats obtenus, dans certains ports, par une disposition particulière des ouvrages exécutés, quand il s'agit d'en construire un nouveau, conçu dans le même système, mais projeté sur une autre côte. Ces résultats peuvent tout au plus, d'une manière générale, confirmer les prévisions auxquelles une étude attentive des circonstances

(1) de Maere-Limnander. *D'une communication directe de Bruges à la mer.*



locales, propres à chaque projet, permet de conclure, en ce qui concerne la réussite des ouvrages à entreprendre.

**Port de Boulogne.** — La côte française, dans l'étendue comprise entre les estuaires des rivières la Somme, l'Authie et la Canche, est plate et encombrée de sables; mais à partir d'Equihen jusqu'au cap Gris-Nez, on rencontre de hautes falaises, dont les bancs marneux ou calcaires appartiennent aux étages kimméridgien et portlandien. Ces falaises s'étendent du nord au sud jusqu'à la hauteur du cap d'Alpreck, situé à 2 milles environ au sud de Boulogne, puis elles se dirigent à l'est, décrivent une courbe concave vers la mer et se rapprochent de nouveau du méridien d'Alpreck, près du cap Gris-Nez. Sous l'action de la mer et des gelées, elles subissent des érosions lentes, mais continues, qui leur ont donné une forme très-irrégulière, à cause de la résistance différente des couches dont elles sont composées; les parties les plus dures constituent une série de pointes saillantes ou caps, tandis que les roches plus tendres se creusent et forment des anses intermédiaires.

Le port de Boulogne se trouve au fond du rentrant qui sépare deux de ces pointes : la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche.

A une distance de 1 mille  $\frac{1}{2}$  ou 2 milles au large de la ligne des falaises, s'étend le banc de sable, appelé *la Bassure de Baas*, d'une longueur de plus de 12 milles, dirigé à peu près N.  $\frac{1}{4}$  N.E.; il prend son origine un peu au nord d'Ambleuse, à 4 kilomètres de la côte, et s'en éloigne jusqu'à 10<sup>km</sup>,3 par le travers de Dannes; ses parties les plus élevées se trouvent de 4 à 5 mètres au-dessous du niveau des plus basses mers; à la hauteur de Boulogne, le banc s'abaisse; il y présente plus de 10 mètres d'eau à marée basse. Les fonds avoisinants, au large et entre la Bassure et la côte, ont en moyenne de 17 à 20 mètres de profondeur.

La plus grande vitesse du courant de flot devant Boulogne, à 4 ou 5 milles au large, est de 1<sup>m</sup>,50 et celle du courant de jusant, de 1<sup>m</sup>,35 par seconde.

Au cap Gris-Nez, ces vitesses sont plus considérables; elles atteignent, pour le courant de flot 2<sup>m</sup>,05 et pour le courant de jusant 2<sup>m</sup>,00 par seconde.

Ces maxima se produisent respectivement environ trois quarts d'heure ou une heure après le moment de la pleine mer et après celui de la basse mer. Ils correspondent aux marées de vive eau et sont moindres en morte eau. Le courant de flot porte vers le N.N.E. et le courant de jusant vers le S.S.O., au moment de leur plus grande vitesse.

L'amplitude moyenne des marées de vive eau ordinaires, au port de



Boulogne, est de 7<sup>m</sup>,86; en morte eau, elle est en moyenne de 4<sup>m</sup>,42 <sup>(1)</sup>.

Les courants de marée qui circulent entre la Bassure de Baas et la côte, sont assez intenses pour n'y laisser aucun dépôt de sable sur environ 1 mille <sup>1</sup>/<sub>2</sub> de largeur moyenne à partir du pied intérieur du banc; au droit du cap d'Alpreck et de la partie de falaises qui se prolonge jusqu'à 2 milles environ au sud de ce cap, cette zone, à fond dur d'argile et de pierre, s'étend jusqu'aux roches situées au pied du rivage. Mais, par suite de l'élargissement résultant de la concavité de la côte dans le nord du cap d'Alpreck, la vitesse du courant près de terre diminue devant Boulogne et l'on y rencontre, de part et d'autre du port, des plages de sable. Le sable de ces plages ne présente toutefois qu'une épaisseur relativement faible, qui diminue de plus en plus à mesure qu'on descend vers les fonds de 6 à 7 mètres sous marée basse, et on n'en trouve plus dans les fonds de 7 à 8 mètres.

MM. Stœklin et Laroche, en parlant du nouveau port de Boulogne <sup>(2)</sup> comparent l'action des courants qui se propagent entre la Bassure de Baas et le rivage, à celle d'un grand fleuve, dont la rive concave, formée par la côte du Boulonnais, aurait été fixée au moyen de deux grands épis, la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche.

Ces ingénieurs font valoir, à l'appui de cette théorie, une série de considérations qui font connaître en même temps le régime des fonds sous-marins de ces parages maritimes, et que nous reproduirons en partie :

« Le cap de l'Heurt et la pointe de la Crèche sont accores; le fond du lit laisse voir partout le sol naturel; le talus de la plage est brisé en plusieurs points, surtout vers la profondeur de 7 à 8 mètres, où l'on retrouve, en haut, le talus du lit majeur avec une inclinaison descendant jusqu'à 1 ou 2 millimètres par mètre, et, en bas, le talus du lit mineur avec une inclinaison dix ou quinze fois plus forte, et qui va, en certains points, jusqu'à 7 ou 8 centimètres. A la suite des épis se trouve un rentrant, et, comme le courant va alternativement dans chaque sens, le rentrant existe de chaque côté de l'épi, et il en résulte, vers le milieu, un renflement relatif.

« Les courbes de niveau se pressent autour des caps, autour de la pointe de l'Heurt surtout; les eaux gonflées en amont se partagent; les unes coulent entre la Bassure et la terre; les autres se déversent vers le large, et produisent ainsi cette dépression que M. Ploix a constatée en ce point de la Bassure.

« Sur l'estran, les courants se font également sentir; mais leur action est

<sup>(1)</sup> *Ports maritimes de la France*. Notice de M. l'Ingénieur Vivenot.

<sup>(2)</sup> *Des ports maritimes, considérés au point de vue des conditions de leur établissement et de l'entretien de leurs profondeurs*. Ouvrage cité.



modifiée par l'action des lames, qui prend ici la prépondérance. L'action des lames a pour effet de corroder les couches d'argile et de tuf, et de niveler ensuite avec du sable les creux qui se produisent entre les bancs de roches. Mais, malgré la présence de ce sable, la plage de Boulogne est loin d'être ce qu'on appelle une plage de sable; quand on la suit entre la pointe de l'Heurt et celle de la Crèche, on rencontre, à chaque pas, des arêtes de roche ou de tuf, et les forages exécutés par M. Legros, en 1872, autorisent à penser, que la chemise de sable n'a nulle part une épaisseur supérieure à 2<sup>m</sup>,00.

« Si l'on pouvait enlever cette chemise, on retrouverait partout la falaise, se comportant sous l'eau comme elle se montre au-dessus, et produisant, par suite des couches très-différentes dont elle est formée, les plateaux signalés par M. Ploix, et les irrégularités que l'on rencontre dans les fonds, et qu'il serait absolument impossible d'expliquer avec une plage de sable.

« L'observation des faits, continuent MM. Stœklin et Laroche, confirme cette théorie. Une reconnaissance hydrographique des parages de Boulogne a été faite avec un soin extrême dans le courant de 1876, sous la direction de M. E. Ploix, Ingénieur hydrographe de la Marine. En comparant les résultats de cette reconnaissance hydrographique avec ceux des reconnaissances faites dans les mêmes parages, en 1835 par M. Beautemps-Beaupré, en 1855 par MM. Gaussin et Estignard, M. Ploix est arrivé à cette conclusion, qu'il n'y a pas eu de modifications appréciables de la plage, en général, de 1835 à 1855 et de 1855 à 1876, que la falaise continue à reculer; que les grands fonds sont restés les mêmes, et que les courbes, à partir de celle de 5<sup>m</sup>,00, n'ont pas varié sensiblement. Les dépôts de sable provoqués par les jetées de Boulogne, construites en 1835, et par la jetée du Portel, faite en 1867, ont eu fort peu d'importance et n'ont exercé aucune influence sur les fonds de plus de 5<sup>m</sup>,00. Ces dépôts n'ont rien de contraire à la théorie indiquée ci-dessus, et ne sont pas de nature à compromettre l'avenir du nouveau port. »

La théorie qui précède, a décidé MM. Stœklin et Laroche de proposer pour Boulogne la construction d'un port fermé au moyen de jetées pleines et englobant l'entrée du port actuel; celui-ci communique avec la mer au moyen d'un chenal de 70 mètres de largeur, compris entre des jetées à claire-voie avec encoffrements.

La jetée du large du nouveau port sera placée à peu près parallèlement à la ligne du courant de flot et sur le bord du talus dont les courbes de 7 et 8 mètres forment la crête. (Pl. XXVI). Elle aura 1100 mètres de longueur et présentera vers le milieu, une passe d'entrée de 250 mètres de largeur. La jetée sud, de 1350 mètres de longueur, sera reliée à la rive sous un angle de



70°; celle du nord sera située en prolongement de la jetée nord du chenal existant; elle présentera une forme légèrement concave et s'avancera jusqu'à une distance de 1410 mètres de la côte, de manière à laisser, entre le nouveau musoir et le musoir nord de la jetée du large, une passe de 150 mètres, orientée vers le N.N.O.

Ces jetées seront formées d'un massif en enrochements naturels et artificiels, terminé supérieurement au niveau des basses mers de morte eau et surmonté d'une muraille.

L'enceinte ainsi formée aura une surface de 300 hectares environ, dont 65 ont déjà de 5 à 8 mètres d'eau, par les plus basses mers, et dont 80 hectares seront dragués à la profondeur de 5<sup>m</sup>,00; 100 hectares seront réservés le long de la côte pour être remblayés ou occupés par de nouveaux bassins. Une traverse de 400 mètres de longueur sur 200 mètres de largeur à construire perpendiculairement à la limite de la surface réservée au fond du port, permettra l'accostage des paquebots à toute heure de la marée.

Au point de vue de la question des ensablements, il est à remarquer que le port, dans les conditions où il est placé, constituera une sorte de cap intermédiaire entre la pointe de l'Heurt et la pointe de la Crèche, et l'on ne voit par conséquent aucune raison pour qu'il ne soit pas plutôt affouillé qu'ensablé du côté du large, comme le sont les caps naturels existants. Pour mieux assurer l'entraînement du sable au delà des passes d'entrée, la digue du large est projetée suivant une direction à peu près parallèle à celle du courant de flot; la petite différence entre ces deux directions semble devoir donner lieu à une composante normale, de manière que le courant aurait non seulement une tendance à suivre la jetée, mais même à l'affouiller.

Quant aux mouvements de sable qui se produiront dans le voisinage de l'enceinte, ils provoqueront probablement certains relèvements de la plage près des jetées, mais ces relèvements ne sauraient atteindre une grande hauteur, ni compromettre l'existence du port; l'agitation de la mer devant Boulogne étant très-grande, les vagues se précipiteront, pendant les tempêtes, dans les angles extérieurs compris entre les môles et la dune, et emporteront au large une grande partie des sables apportés pendant les temps calmes.

Notons toutefois que les dispositions du projet, quant aux passes d'entrée, ne sont pas favorables pour la navigation; en cas de gros temps, la mer occasionnera contre la digue du large, des vagues de réflexion et des ressacs, qui rendront l'accès du port fort dangereux. Aussi est-il question de ne conserver qu'une seule passe, placée à l'extrémité de la jetée nord, et qui



serait protégée par un prolongement, convenablement orienté, de la digue du large. Sur une côte comme celle de Boulogne, où l'ensablement des passes n'est guère à craindre, cette modification ne paraît pas pouvoir donner lieu à des inconvénients.

La question qui semble davantage préoccuper les ingénieurs français, est relative aux dépôts que les eaux de la mer et celles de la Liane produiront à l'intérieur du port, par suite du calme relatif et de l'absence de circulation qu'elles y éprouveront.

Pour juger de l'importance probable de ces dépôts, M. Ploix a procédé à une série d'expériences, dans le but de déterminer les quantités de sable et de vase que les eaux de la mer, en mouvement devant Boulogne, tenaient en suspension; il a trouvé qu'en temps calme ou presque calme, il y avait, en moyenne, par mètre cube d'eau de mer, 1,5 gr. de sable, correspondant aux  $\frac{3}{4}$  d'un centimètre cube, et 11 grammes de vase; par une mer très-agitée, 1 mètre cube d'eau recueillie entre les jetées, contenait 91 grammes de sable et 259 grammes de vase, soit 60 fois plus de sable et 25 fois plus de vase. M. Ploix a fait ensuite l'évaluation de ce qui se déposerait annuellement de sable dans tout le port, par l'effet de la marée, en tenant compte, d'après le relevé des observations de vent faites pendant 5 ans, du nombre de jours pendant lesquels la mer est respectivement calme, agitée ou dans un état intermédiaire, et en admettant, en outre, que la moitié seulement de l'étendue de l'enceinte serait soustraite à l'action des courants et des vagues; d'après cette évaluation, le cube total de sable apporté chaque année dans le port, ne dépasserait pas 37 000 mètres.

Mais M. Ploix ajoute qu'il ne veut en aucune façon réputer comme exactes les données et les hypothèses admises comme base de ses calculs, et qu'il est impossible de savoir dans quelles limites elles représentent la vérité; que d'un autre côté, il n'a pas compté les vases qui entrent pour une part bien plus considérable dans les dépôts constatés par ces expériences, et dont une certaine portion se déposera dans les endroits les plus abrités du port<sup>(1)</sup>.

MM. Stœklin et Laroche, dans leur rapport précité, reconnaissent également qu'il serait difficile de prévoir la quantité des dépôts qui se produiront à l'intérieur du port, mais ils apprécient la question d'une manière un peu différente :

Ces ingénieurs ne redoutent pas l'entraînement, dans le port, des sables

<sup>(1)</sup> E. Ploix. *Recherches hydrographiques sur le régime des côtes*. Septième cahier.



lourds. Ces sables, chassés par le courant longitudinal, suivront la direction de ce dernier en roulant sur le fond, et ils ne pourront que difficilement remonter le talus assez raide qui se trouve devant les passes; une certaine quantité pourra être refoulée à l'intérieur des jetées, sous l'action des courants et des vagues, pour se déposer près de l'entrée ou derrière l'extrémité du tronçon nord de la jetée du large; il est probable cependant que les courants d'émission, eu égard à la grande amplitude de la marée et à l'étendue considérable du port, seront assez puissants pour ramener la majeure partie de ces dépôts vers le large.

En ce qui concerne les sables fins, comme les entrées du nouveau port seront situées dans des profondeurs de 7 à 8 mètres par basse mer, et, qu'à cette distance, le fond ne subit plus guère l'action des lames, ils admettent que la quantité entraînée dans l'enceinte sera peu importante, et se réduira aux sables qui, soutenus par de la vase, peuvent se maintenir longtemps en suspension et être emportés à de grandes distances.

Restent les vases provenant soit de la mer, soit des eaux de la Liane ou des égouts. MM. Stœklin et Laroche font observer que l'on ne rencontre nulle part, sur les plages de Boulogne, des traces de dépôts de cette nature, bien que la falaise et le sol naturel de l'estran soient formés, en grande partie, de couches d'argile et que cette plage reçoive les matières provenant des eaux précitées. Ils en concluent que la mer doit apporter peu de vase; quant à la Liane et aux égouts, il est rationnel d'admettre que les matières lourdes qu'ils charrient, se déposent dans leur partie supérieure; en arrivant dans le port actuel, leurs eaux abandonnent une nouvelle quantité des matières entraînées et ne contiennent plus, en sortant de celui-ci, que les sables et les vases fines. Et, comme l'enceinte du nouveau port aura une étendue très-grande, et qu'il y règnera une certaine agitation, une partie seulement de ces vases se précipiteront sur le fond.

MM. Stœklin et Laroche font observer enfin que, sous le rapport des dépôts à craindre, la situation de Boulogne ressemble beaucoup à celle de Douvres, et ils croient pouvoir évaluer l'importance de l'envasement probable du port de Boulogne, en se basant sur le résultat des expériences qui ont été faites, en 1845, par le capitaine Washington, pour déterminer la quantité des matières en suspension dans les eaux de la rade de Douvres.

Le capitaine Washington ayant trouvé que, si toutes les matières en suspension dans l'eau se déposaient, l'épaisseur du dépôt serait de 0<sup>m</sup>,0762 de vase solide par an, ils estiment que l'on peut adopter comme un maximum la moitié de ce chiffre, soit 380 mètres cubes par an et par hectare.



En résumé, le projet du nouveau port de Boulogne est conçu de façon à profiter de l'action des courants de marée, pour préserver les passes d'entrée de l'ensablement. Il se produira nécessairement des dépôts à l'intérieur de l'enceinte, et il n'est guère possible de prévoir quelle en sera l'importance; mais comme il résulte des expériences de M. Ploix et des observations de MM. Stœklin et Laroche, que la quantité des matières contenues dans l'eau de la mer, devant Boulogne, n'est pas considérable, ces dépôts ne paraissent pas devoir donner lieu à des dragages hors de proportion avec l'importance du port.

**Port de Nieuwe Diep.** — Le port de Nieuwe Diep est situé à l'est de la pointe du Helder, et débouche dans la passe du Texel, laquelle réunit de Zuiderzee à la mer du Nord.

Devant l'entrée du Texel, il existe plusieurs bancs de sable, laissant entre eux des chenaux navigables. Le meilleur est le Schulpengat, qui court N.N.E. à une faible distance de la côte et présente, entre le plateau du Bollen d'un côté, et le Fransche bank et la côte de l'autre côté, une profondeur variant de 8 à 20 mètres; celle-ci se réduit à 7<sup>m</sup>,50 environ sur le haut-fond situé dans le N.O. de Huisduinen, à l'endroit où le Schulpengat débouche dans le Helsdeur, ainsi qu'on appelle le large chenal compris entre le Helder et les hauts-fonds situés devant la côte S.O. du Texel. Le Helsdeur conduit à la rade du Helder et communique par le Marsdiep avec le Texelstroom.

La côte située au sud de la pointe du Helder est bordée de dunes très-larges; mais, au nord de Huisduinen, elle est défendue contre la mer par la digue du Helder, le long de laquelle on ne sonde pas moins de 20 mètres de profondeur, à une distance de 150 mètres du rivage.

Le port de Nieuwe Diep débouche dans la rade du Helder, à l'extrémité est de cette digue. C'était autrefois un chenal de peu de profondeur, creusé par les courants de jusant qui, au sortir du Zuiderzee, longent, du côté est, la pointe du Helder. Pour favoriser l'action de ces courants, on a construit en 1782 une digue parallèle au rivage, terminée au sud par une autre digue, s'avancant obliquement par rapport à la première, dans le Zuiderzee; les deux digues furent prolongées plus tard; la première a actuellement 1900 mètres de longueur et dépasse de 2<sup>m</sup>,30 le niveau des hautes mers; la seconde a 3350 mètres de longueur et ne dépasse ce même niveau que de 0<sup>m</sup>,30.

L'amplitude de la marée est de 1<sup>m</sup>,20 à 1<sup>m</sup>,40.

Les eaux, en descendant du Zuiderzee vers la mer du Nord, furent ainsi forcées à s'écouler en plus grande quantité à travers le chenal compris entre la digue longitudinale et la côte, et y creusaient peu à peu de grandes profondeurs;



on facilitait l'érosion produite par les courants en désagrégeant les matières du fond au moyen de herse.

Ce chenal constitue aujourd'hui un port excellent, où l'on trouve en moyenne 9<sup>m</sup>,50 d'eau à marée basse et près de 15 mètres à l'entrée.

Les courants de flot et de jusant qui circulent devant son emplacement, produisent des affouillements continuels le long de la digue du Helder, dont le pied doit être consolidé au moyen d'enrochements. Comme l'entrée du port se trouve en prolongement de cette digue, elle est rasée par les courants de marée qui la préservent de tout ensablement, pendant que les eaux du jusant entretiennent la profondeur à l'intérieur. Quant à l'action des vagues, elle ne peut guère occasionner des apports de sable vers la rive, ni le long de celle-ci, grâce à la grande profondeur du talus sous-marin qui s'étend devant cette partie de la côte.

On peut dire que le port de Nieuwe Diep est une des conceptions les mieux réussies dans le domaine des constructions à la mer. Par des travaux relativement simples, on est parvenu à tirer tout le parti possible de la situation hydrographique exceptionnelle de la rade du Helder, pour y créer et y maintenir, par le jeu naturel des courants, un port à marée débouchant dans les grands fonds et accessible, en tout temps, aux navires du plus fort tonnage.

**Port d'Ymuiden.** — Le port d'Ymuiden sert d'entrée au nouveau canal reliant directement Amsterdam à la mer du Nord, à travers la partie la plus étroite du pays, appelée *Holland op zijn smalst*. Avant 1825, la seule voie d'accès au port d'Amsterdam était le Zuiderzee et le golfe de l'Y; le peu de profondeur qui existait à l'entrée du golfe et les hauts-fonds dont le Zuiderzee est encombré, constituaient de grandes entraves à la navigation; pour ce motif, on a construit de 1819 à 1825 le canal de Noord-Holland, dont l'écluse d'entrée se trouve au port de Nieuwediep et qui aboutit à la rade d'Amsterdam.

Mais les navires étaient toujours obligés de doubler la pointe du Helder et, pour parcourir le canal lui-même, il leur faut au moins de 18 à 24 heures. Cette voie navigable ne présente du reste que 5<sup>m</sup>,50 de tirant d'eau et les dimensions de ses écluses ne sont plus en rapport avec les besoins actuels de la grande navigation.

Ces inconvénients décidèrent le gouvernement hollandais à accorder, en 1863, à une compagnie puissante, la concession du nouveau canal et d'un port sur la mer du Nord, avec l'autorisation de barrer le golfe de l'Y au moyen d'une digue à établir à l'est de la ville d'Amsterdam et de vendre, après les avoir desséchés, les terrains de toute la partie du golfe située de part et d'autre du canal.

Ces travaux furent exécutés de 1866 à 1878, d'après les plans dressés par



sir John Hawkshaw, ingénieur anglais d'une grande renommée, conseil de la société concessionnaire, et sous la direction des ingénieurs en chef du Waterstaat néerlandais, MM. Dirks et Waldorp, assistés de MM. les Ingénieurs van Ryn et van Gendt.

Le port d'Ymuiden se trouve à mi-chemin à peu près entre l'embouchure de la Meuse et le Texel. Depuis Terheyden, situé au nord du Hoek van Holland, jusqu'aux digues de défense existant entre Kamperduin et Petten, la côte présente la forme d'une ligne concave dont la corde est dirigée du S.S.O. au N.N.E.; elle est partout basse et sablonneuse et bordée d'une chaîne de dunes de hauteur et de largeur variables.

Les dunes qui s'étendent au sud du port, sur une distance de 20 kilomètres de celui-ci, sont très-puissantes; elles ont 3000 à 4000 mètres de largeur. Celles que l'on rencontre immédiatement au nord, sur une étendue de 4 kilomètres environ, n'ont que le tiers de cette largeur, mais plus loin elles s'accroissent de nouveau brusquement et se maintiennent sensiblement dans les mêmes conditions jusque près d'Egmond.

Devant Ymuiden, le courant de flot se dirige vers le N.E.  $\frac{1}{4}$  E.; sa vitesse maximum, observée en temps ordinaire à 4000 mètres de la dune, atteint près de 1 mètre par seconde en vive eau, mais en morte eau, elle ne dépasse souvent pas la moitié de cette valeur. Le courant de jusant porte vers le S.O. avec une vitesse notablement moindre.

La durée du flot est de 4<sup>h</sup>15<sup>m</sup> et celle du jusant de 7<sup>h</sup>54<sup>m</sup>.

L'amplitude de la marée ne mesure que 1<sup>m</sup>,60.

La largeur normale de la plage, jusqu'à la laisse des basses mers, est en moyenne de 160 mètres. L'estran sous-marin qui la précède, est très-faiblement incliné; les lignes de niveau de 2<sup>m</sup>,50, de 5<sup>m</sup>,00 et de 8<sup>m</sup>,00 se trouvent respectivement à 450, 900 et 1600 mètres environ du pied de la dune. Plus loin, le fond se raccorde, sous une pente assez régulière, avec un plateau à peu près horizontal, de plus de 8 milles de largeur, et s'incline ensuite vers les profondeurs de 20 à 25 mètres, lesquelles se prolongent jusqu'à une grande distance au large.

On ne rencontre aucun banc dans le voisinage de la côte.

Quant au régime des vents, il est caractérisé dans ces parages par la fréquence des vents d'ouest au S.O.; les tempêtes soufflant du N.O. y ont le plus de violence et amènent par conséquent les plus hautes eaux sur le rivage.

Le port d'Ymuiden comprend une enceinte formée de deux jetées insubmersibles, qui s'avancent en mer jusque dans les fonds de 8 mètres sous le niveau de marée basse, laissant entre elles une ouverture de 260 mètres à l'entrée. (Pl. XXVI).



Chaque jetée se compose d'une maçonnerie en gros blocs artificiels de béton, dont les parements n'ont que  $\frac{1}{7}$  de fruit, et qui repose sur une large couche en pierres de basalte. (Pl. XXX, fig. 3).

L'axe du port est dirigé vers l'ouest avec une légère inclinaison vers le nord, soit à peu près normalement à la côte.

Les deux jetées, espacées à leur origine de 1200 mètres, convergent l'une vers l'autre, de telle sorte que, lorsque chacun de ces ouvrages a atteint une longueur de 1200 mètres, leur écartement se réduit à 660 mètres. A partir de là, elles s'inclinent suivant deux nouveaux alignements, raccordés avec les premiers par des courbes de 150 mètres de rayon et dirigés de façon à former ensemble, s'ils étaient prolongés, un angle de 90°. Ces parties de jetées ont une longueur de 345 mètres chacune, y compris les musoirs circulaires qui les terminent.

La surface totale de l'enceinte mesure plus de 120 hectares, mais dont la partie centrale seulement doit être tenue à profondeur, suivant une forme elliptique de 55 hectares de superficie et de manière à ce qu'il y ait 7<sup>m</sup>,70 d'eau à marée basse.

Pour défendre l'entrée du canal contre les sables qui s'accumulent à l'intérieur de l'avant-port près de la dune, on a construit deux jetées basses en pierres, de direction parallèle, espacées de 220 mètres et terminées à la laisse des plus basses mers.

La grande jetée nord du port d'Ymuiden, commencée en 1867, avait 630 mètres de longueur en mai 1871, 1205 mètres en mars 1873 et 1420 mètres en mars 1876; elle a été terminée en décembre 1878. La jetée sud n'a été commencée qu'en 1869; elle avait 450 mètres de longueur en mai 1871, 1037 en mars 1873 et a été achevée dans le courant du mois de mars 1876.

Les travaux du port sont achevés trop récemment pour que l'on puisse dire, dès à présent, jusqu'à quel point l'influence des jetées modifiera, dans l'avenir, la situation de l'estran et des fonds sous-marins avoisinants, ni dans quelles conditions on pourra maintenir définitivement la profondeur dans la passe d'entrée. Mais les faits déjà observés permettent cependant de conclure à certaines prévisions à cet égard, et d'apprécier assez exactement l'importance de l'envasement qui se produit à l'intérieur de l'enceinte.

Commençons par dire que la construction des jetées a été suivie presque immédiatement d'un avancement de l'estran, non seulement dans les angles extérieurs, mais encore à l'intérieur du port.

Le plan figuré pl. XXVI est reproduit d'après la carte hydrographique publiée en 1878 par la Marine néerlandaise, et renseigne la situation du port à



cette époque. Sur ce plan, la laisse des basses mers, au droit des jetées, avance d'environ 130 mètres par rapport à sa position normale et la plage a pris, de chaque côté du port, un accroissement triangulaire qui reste sensible jusqu'à plus de 1500 mètres des jetées. En comparant la carte de 1878 avec un plan de sondages de la côte d'Ymuiden, qui a été levé en 1851, on constate en outre que l'estran sous-marin a subi également un certain exhaussement dans le voisinage du port.

La nouvelle carte du port d'Ymuiden, publiée en 1883, fait voir que, près des môles, l'ensablement continue à se produire d'une manière assez rapide. Au nord de l'enceinte, la plage s'est développée, le long de la jetée, de plus de 100 mètres, depuis 1878, et cet accroissement de largeur est encore très-appréciable à 1200 mètres de distance environ du port. Les courbes de 2<sup>m</sup>,50 et de 5<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers ont avancé dans des proportions semblables et les fonds de moins de 7<sup>m</sup>,00 se sont étendus près du musoir. A la jetée sud, la plage s'est accrue suivant une saillie très-prononcée et la ligne des fonds de 5 mètres a reculé vers le large; celles de 6 et de 7 mètres ont pris une allure plus régulière, sans s'écarter beaucoup de la position qu'elles occupaient en 1878. Enfin, entre les lignes de niveau de 3 et de 4 mètres, on constate la formation d'une bande étroite et surélevée, où il ne reste que 1<sup>m</sup>,90 d'eau à marée basse.

Devant le port, la courbe de 12 mètres s'est déplacée vers le large, et les fonds situés au delà de cette courbe, en face de la tête des jetées et dans le nord-ouest de celles-ci, se sont plus ou moins exhaussés. (Pl. XXVII).

A Ymuiden, le fait de l'avancement relativement rapide de la plage dans les angles extérieurs formés par les jetées du port avec la dune, est une conséquence du régime hydrographique de cet atterrage. Les fonds sablonneux du talus sous-marin qui précède la côte d'Ymuiden, sont très-faiblement inclinés, de sorte que les vagues y occasionnent, dans la zone peu profonde attenante au rivage, des transports de sable importants, lesquels sont interceptés par les môles du port et y produisent le relèvement de la plage. A l'action des vagues vient s'ajouter celle des courants, et surtout celle des vents qui agissent sur l'estran sec et sur les larges dunes dont ce dernier est bordé, en donnant lieu à des vols de sable abondants. L'avancement de l'estran qu'on observe à l'intérieur du port, provient plus spécialement de cette dernière cause.

Ainsi que nous l'avons dit, il n'est guère possible de prévoir dans quelles proportions l'existence des jetées d'Ymuiden continuera dans l'avenir à modifier la situation de la plage et des fonds voisins. Des ingénieurs hollandais très-



autorisés estiment qu'il ne faudra pas moins de un à deux siècles avant que le sable de l'estran puisse avoir rempli l'espace triangulaire formé par ces ouvrages avec la ligne de la côte. Cette appréciation nous paraît très-admissible, car le développement de l'estran, provoqué par des môles perpendiculaires au rivage, diminue nécessairement à mesure que la laisse des basses mers s'étend vers le large <sup>(1)</sup>.

ENSABLEMENT DE LA PASSE D'ENTRÉE. — L'ensablement de la passe d'entrée du port d'Ymuiden résulte principalement de l'action des courants de marée. Le courant de flot, en s'approchant du port, est dévié peu à peu de sa direction et descend, avec plus de vitesse, le long de la jetée sud pour aller se perdre, au delà du musoir de cet ouvrage, dans la masse des eaux qui circulent devant le port. (Pl. XXVII, fig. 2). A la faveur des remous, occasionnés ainsi dans l'espace compris entre la ligne reliant les deux musoirs et celle qui correspond au prolongement de la jetée sud, le sable soulevé le long de celle-ci va se déposer devant et autour du musoir de la jetée nord; une partie de ce sable est entraînée à l'intérieur de l'enceinte et se précipite près du tronçon extrême de cette jetée par l'effet du flot, dont les eaux remplissent le port en s'inclinant avec force autour du musoir de la jetée sud, pour se diriger ensuite, avec une vitesse ralentie, entre l'axe du port et la jetée opposée.

Le courant de jusant s'appuie de même contre le môle nord; mais comme sa vitesse est beaucoup moindre que celle du flot et que sa direction est quelque peu influencée par l'écoulement des eaux sortant de l'avant-port, il n'a pas la force d'attaquer efficacement les atterrissements résultant du premier de ces courants.

Les affouillements occasionnés par le flot et le jusant, le long de la partie inférieure des jetées, y produisent des sillons qui s'étendent sur 800 mètres de longueur environ à partir des extrémités de ces ouvrages, et dont la profondeur augmente à mesure qu'on s'approche de celles-ci. Près des têtes inclinées, cette profondeur est de 8 mètres à la jetée nord et elle atteint jusqu'à 10 et 11 mètres à la jetée sud.

On comprend que les dépôts de sable devant l'entrée du port doivent se produire principalement lors des tempêtes du S.O. au N.O.; les vagues remuent alors plus ou moins profondément la couche supérieure du sable de la plage et des fonds attenants, pendant que les eaux du flot sont chassées avec plus de violence au-dessus de l'estran et jusqu'au pied des dunes. C'est au nord de l'axe du port, sur une surface d'environ 2 hectares, que ces dépôts sont les plus considérables; les sondages y accusent souvent, après des gros temps prolongés,

<sup>(1)</sup> Voir page 148.



un exhaussement moyen de 1<sup>m</sup>,20 au bout d'un nombre de jours relativement restreint, avec des parties surélevées mesurant en divers points plus de 3 mètres de hauteur <sup>(1)</sup>.

Dans l'état où le port et les plages attenantes se trouvaient en 1878, l'enlèvement des ensablements devant l'entrée exigeait environ 80 000 mètres cubes de dragage par an; et comme les dragues ne savent fonctionner près de la tête des jetées, que lorsque la mer est faiblement agitée, il arrive fréquemment que les atterrissements ne peuvent y être enlevés promptement et que la passe navigable, avec 7<sup>m</sup>,00 d'eau sous marée basse, n'a que 100 à 120 mètres de largeur, à partir du musoir du môle sud.

Les ingénieurs néerlandais, préoccupés de cet inconvénient, qui ne peut que s'aggraver à mesure que l'estran s'exhaussera des deux côtés du port, ont examiné la question de savoir s'il ne conviendrait pas, pour des ports du genre de celui d'Ymuiden, d'adopter une autre forme de jetées; leur avis est assez différent à cet égard.

M. l'Ingénieur en Chef Dirks, voulant éviter les angles morts à l'entrée et diriger les courants de flot et de jusant parallèlement à celle-ci, préconise la disposition indiquée pl. XXVII, fig. 4.

Les jetées nord et sud de l'enceinte y sont projetées perpendiculairement à la côte et seraient distantes de 1300 mètres l'une de l'autre; elles s'avanceraient jusque dans les fonds de 8 à 10 mètres et se termineraient par des têtes parallèles au rivage, prolongées du côté ouest de 750 mètres et du côté est de 600 mètres au delà de l'alignement des jetées transversales. La passe d'entrée se trouverait dans l'axe de l'enceinte et aurait 250 mètres de largeur.

M. Dirks pense qu'avec ces dispositions les contre-courants et les remous qui sont la conséquence naturelle et inévitable de tout ouvrage avancé, se détruiraient dans les espaces situés derrière les jetées parallèles, c'est-à-dire en des endroits où ils ne peuvent créer aucun obstacle nuisible à la navigation; que les courants de flot, en sortant de ces espaces, suivraient le côté intérieur des jetées parallèles et tourneraient autour de l'extrémité de celles-ci pour se réunir ensuite aux courants qui longent ces ouvrages à l'extérieur, de manière que ceux-ci, ne subissant plus aucune déviation, empêcheraient la formation des dépôts devant la passe d'entrée.

Comparant son système avec celui des têtes inclinées et ce dans les différentes hypothèses concernant la direction du vent, M. Dirks reconnaît, qu'au point de

<sup>(1)</sup> J. F. W. Conrad, Inspecteur van den Waterstaat. *Beoordeeling van het door Jhr. H. Th. Hora Siccama opgemaakt ontwerp eener zeehaven te Scheveningen.*



vue des inconvénients à résulter de l'action des vagues pour la manœuvre des navires, la disposition avec têtes parallèles est certainement plus défavorable ; mais il lui semble que le mouvement des vagues contre de pareilles jetées ne rendrait pas cette manœuvre assez difficile pour qu'il fût impossible d'entrer dans le port par de mauvais temps, tandis qu'il est rare de voir des navires sortir en ce cas.

MM. les Ingénieurs en Chef Conrad et Waldorp, dans une discussion fort intéressante, reproduite dans le *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs*, présentent plusieurs objections contre le système proposé par M. Dirks. Ils pensent que, sous le rapport de la navigation, une enceinte avec têtes parallèles à la côte n'est pas à conseiller, car à l'exception des cas où le vent soufflerait suivant une direction parallèle à celles-ci, il se produirait, à l'entrée du port, des ressacs et des vagues de réflexion, ainsi que des courants en travers ; or, dans ces conditions, les navires n'écoutent plus le gouvernail et sont exposés aux plus grands dangers.

Ces ingénieurs considèrent comme une condition essentielle que le port soit accessible en toute circonstance et que, pour ce motif, il convient de placer l'entrée le plus loin possible en dehors des ouvrages pouvant occasionner des réflexions de lames, comme cela aurait lieu avec des jetées terminées par des têtes parallèles.

M. Waldorp ne croit pas d'ailleurs, qu'en adoptant ce dispositif, on éviterait les ensablements à l'entrée ; il pense au contraire que le courant de flot, en sortant de l'espace compris entre la jetée parallèle, la jetée sud et la côte, irait former des remous le long de la première de ces jetées et y provoquerait des atterrissements ; que le courant de jusant produirait de même des dépôts au nord de l'entrée du port, et que celle-ci présenterait finalement, entre ces ensablements, une forme en entonnoir, laquelle, au point de vue de la navigation, est la plus défectueuse possible.

D'après M. Waldorp, on doit chercher à atténuer les effets produits par les contre-courants, sans nuire à la facilité de manœuvre des navires à l'entrée. Il propose, à cette fin, de donner à la tête des jetées une forme courbe, disposée de manière que la direction, suivant laquelle les courants quittent les extrémités des jetées pour se réunir au courant général à l'extérieur du port, soit inclinée le moins possible par rapport à la ligne de la côte. (Pl. XXVII, fig. 3). Les sables entraînés par le courant de flot le long de la jetée sud, se déposeraient encore au nord de la jetée opposée, mais plus près de celle-ci, soit à peu près à l'intérieur de la tangente, menée à l'extrémité de la partie courbe qui se termine au musoir de la



première de ces jetées; les dépôts laisseraient par conséquent l'entrée du port plus libre et les brisants qui s'y produiraient seraient moins dangereux.

D'un autre côté, le remous secondaire, auquel le courant de flot donne lieu au delà du musoir de la jetée sud, se réduirait à un minimum, parce que ce courant quitterait l'extrémité de la jetée à peu près tangentiellement et moins brusquement qu'avec des extrémités droites, inclinées sous un angle de 45° par rapport à la direction des courants.

ENVASEMENT DU PORT. — L'enceinte du port d'Ymuiden reçoit des apports de vase considérables. C'est ainsi que le volume total des dragages à exécuter pour creuser à l'intérieur des jetées la surface elliptique projetée, avait été évalué à 1 million  $\frac{1}{2}$  de mètres cubes et que, lorsqu'on en avait exécuté près de 4 millions  $\frac{1}{2}$ , mesurés dans les chalands, il restait encore  $\frac{1}{2}$  million de mètres cubes à enlever pour réaliser la profondeur voulue. Pendant le creusement, l'expérience a appris que 3 mètres cubes de matières draguées et mesurées dans les bateaux ne donnaient, en moyenne, qu'une diminution de 1 mètre cube dans la contenance du profil; ce résultat, qui est partiellement dû, il est vrai, au volume plus grand que les vases occupent quand elles sont draguées, et à l'affluence des dépôts des segments latéraux vers les parties plus profondes du port, provenait surtout des apports nouveaux, amenés continuellement de la mer.

Du 4 octobre 1878 au 30 novembre 1879, alors qu'on essayait encore de mettre toute la surface elliptique de l'avant-port à la profondeur de 6<sup>m</sup>,70 à 7<sup>m</sup>,70 sous le niveau des basses mers, il a été dragué environ 765 000 mètres cubes, mesurés dans les chalands, et malgré ce déblai considérable, le volume en profil avait diminué à peine de 4000 mètres cubes.

En présence de résultats aussi défavorables, la société concessionnaire du nouveau canal d'Amsterdam a renoncé à l'entretien de l'enceinte et s'est bornée à celui d'une simple passe centrale de 250 mètres de largeur, ayant environ 30 hectares de superficie. Dans ce chenal, les dépôts sont encore très-grands, d'autant plus qu'ils sont augmentés des matières qui affluent des segments latéraux, principalement à l'époque des gros temps; du 1<sup>er</sup> août 1883, époque à laquelle la passe avait la profondeur prescrite, jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre de la même année, soit pendant deux mois seulement, il s'y est déposé 82 000 mètres cubes de vase et de sable vasard<sup>(1)</sup>.

Il serait difficile de dire exactement quelle est l'importance des envasements qui se produisent au port d'Ymuiden; mais on peut admettre que leur épaisseur

(1) J. F. W. Conrad. Ouvrage cité.



n'est pas inférieure, en moyenne, à 0<sup>m</sup>,80 par an pour les parties de l'enceinte qui sont creusées à profondeur. L'entretien de la passe navigable de 250 mètres de largeur, y exige annuellement environ 400 000 mètres cubes de dragages, en tenant compte du cube que les matières extraites donnent en plus, quand elles sont mesurées dans les bateaux.

En 1879, le mètre cube de vase draguée et transportée à une distance de 3000 mètres en mer revenait, à Ymuiden, à 1,25 fr., ce qui donnait pour coût annuel du dévasement de la passe centrale la somme de 500 000 francs.

Depuis cette époque, le prix du mètre cube est descendu à 1,06 fr. Il n'est pas à prévoir cependant que ce prix diminue encore notablement, car il faut compter avec cette circonstance que le dragage au port d'Ymuiden et le transport des déblais en mer exigent un temps suffisamment calme, et que les installations nécessaires, avec le personnel qui y est préposé, doivent chômer pendant les  $\frac{2}{3}$  environ des jours de l'année.

Pour assurer l'écoulement des eaux des anciens polders, et pour faciliter le dessèchement des terrains devenus disponibles de part et d'autre de l'Y, il importe de tenir le canal d'Amsterdam à un niveau à peu près constant, en déchargeant, à certains moments, une quantité d'eau plus ou moins grande par les écluses d'Ymuiden. On aurait donc pu croire que les dépôts qui se forment dans le port, résultent en partie de ces évacuations. Mais les analyses faites par M. Van Bemmelen, professeur à l'Université de Leyden, de divers échantillons de vases provenant respectivement des ports d'Ymuiden et de Blankenberghe, et des fossés d'Amsterdam, ont montré que la composition des deux premiers échantillons était sensiblement la même, et différait au contraire de ceux pris dans les fossés d'Amsterdam. C'est ce qui a permis aux ingénieurs néerlandais de conclure que les dépôts qui se forment à l'intérieur des jetées, à Ymuiden, sont des vases *marines*, comme celles du port de Blankenberghe, et que les écoulements intermittents d'eau que l'on effectue par le canal d'Amsterdam, n'interviennent pas dans ces dépôts d'une manière appréciable.

DISPOSITIONS DU PORT AU POINT DE VUE DE LA NAVIGABILITÉ. — La largeur de l'entrée du port d'Ymuiden est de 260 mètres, mais elle est réduite en réalité à 200 mètres par les blocs en béton qui sont coulés devant les musoirs. De l'avis des hommes compétents, cette dernière dimension est suffisante et c'est celle que sir John Hawkshaw avait proposée dans le principe ; mais il ne serait pas à conseiller cependant d'adopter pour des ports de ce genre une largeur notablement moindre, surtout lorsqu'ils sont établis sur des côtes sablonneuses, où les ensablements à la tête des jetées diminuent souvent momentanément la largeur de la passe navigable.



La commission qui fut chargée de l'examen du projet de port d'Ymuiden, décida que l'entrée de ce dernier devrait être ouverte à l'O.N.O. et de façon à ne pouvoir être franchie suivant une direction située plus au sud que celle de l'est et de l'ouest; les jetées sont disposées de manière à satisfaire à ces conditions, qui paraissent bien répondre aux exigences de la navigation.

En attaquant le port, les navires ont à lutter contre les courants de marée et contre les vagues.

Les courants ont plus d'intensité devant l'entrée qu'en pleine mer par suite de la déviation qu'ils subissent le long des môles; on a constaté que le flot, avec des vents modérés de l'O. au N., avait une vitesse maximum de 1<sup>m</sup>,10 à 1<sup>m</sup>,25 par seconde en quittant le musoir de la jetée sud, et le jusant, observé près de la jetée nord, avec des vents modérés de l'E.N.E., une vitesse maximum variant de 0<sup>m</sup>,55 à 0<sup>m</sup>,70 par seconde.

Quant aux vagues, comme, devant Ymuiden, les fonds sont régulièrement inclinés vers le large et qu'il n'existe aucun banc dans le voisinage de la côte, elles conservent la plus grande partie de leur force vive jusque près du rivage. Dès que le vent est un peu fort, les déferlements qu'elles produisent contre l'enceinte du port, rendent les môles inaccessibles, quoique le couronnement de ces ouvrages soit placé à 4<sup>m</sup>,10 au-dessus du Amsterdamsche peil ou AP (<sup>1</sup>), avec un surélévement de 1 mètre aux musoirs. Pendant les gros temps, les vagues s'élèvent jusqu'à 3 mètres au-dessus des môles, malgré l'existence des blocs en béton, qui sont coulés au pied de ceux-ci jusqu'à 1<sup>m</sup>,70 au-dessus du niveau des hautes mers.

Lors de la tempête du 12 décembre 1883, les eaux atteignaient à l'intérieur du port, une hauteur de + 2<sup>m</sup>,80 par rapport à AP, et les lames qui se brisaient devant la tête des jetées, enlevèrent le bord saillant en cuivre du feu qui est installé sur le musoir du môle sud, à 14 mètres au-dessus de AP, ainsi qu'une partie de la voie ferrée établie sur le môle nord. Il est d'ailleurs fréquemment arrivé que des blocs en béton de 20 000 kilogrammes, coulés le long des parements des jetées, ont été déplacés et fortement endommagés.

Aussi, par de fortes tempêtes, les bâtiments de mer, et surtout les petits navires, ne se trouvent-ils pas en sécurité dans l'avant-port d'Ymuiden. C'est ainsi que les bateaux-dragueurs doivent se réfugier, pendant les gros temps ordinaires de l'ouest, dans le canal extérieur, près des écluses, tandis que les petits navires

(<sup>1</sup>) Le Amsterdamsche peil, ou AP, est le repère qui sert de point de comparaison pour tous les nivellements hydrographiques de la Hollande; il correspond au niveau moyen de la mer devant Amsterdam.



ne sont pas même à l'abri dans la moitié nord de l'enceinte, lorsque le vent souffle avec quelque intensité du S.O., ni dans la moitié sud, lorsqu'il souffle du N.O.

Les vents du large occasionnent en outre, dans le port d'Ymuiden, une houle qui se propage jusqu'aux écluses d'entrée du canal; en cet endroit, elle atteint encore, par les tempêtes, jusqu'à 0<sup>m</sup>,80 de levée et fait souvent battre les portes avec violence <sup>(1)</sup>.

L'enceinte d'Ymuiden, dans les conditions où elle est définitivement maintenue, et qui ont du reste été imposées par suite de l'abondance des envasements intérieurs, ne sert pas en réalité de lieu de stationnement aux navires; elle constitue plutôt un simple port d'accès, conduisant par la passe centrale, creusée à profondeur, vers l'écluse d'entrée du canal. Cependant le port, tel qu'il avait été projeté, aurait dû offrir la profondeur prescrite dans toute l'étendue de la surface elliptique arrêtée au début, de manière à former un port de refuge, où les grands navires, après avoir franchi l'entrée, auraient pu jeter l'ancre, et évoluer librement dans l'un ou l'autre segment de l'enceinte, à l'abri de la jetée au vent. Mais cette condition, qui aurait sans doute eu son utilité, par les tempêtes du N.O. surtout, n'est pas du tout indispensable. Ensuite, pour qu'il eût été possible à plusieurs bâtiments de stationner à la fois et sans encombrement dans l'avant-port, il aurait fallu lui donner beaucoup plus de largeur; car un bâtiment de 120 mètres de longueur, par exemple, a besoin d'une longueur de chaîne égale à 4 ou 5 fois la profondeur d'eau, soit 35 mètres, de sorte qu'un seul navire de cette dimension occuperait un espace de plus de 300 mètres pour évoluer. Or, l'entretien d'une enceinte assez vaste pour permettre à plusieurs grands navires d'évoluer, serait pratiquement impossible sur une côte d'alluvion comme celle d'Ymuiden.

Au port d'Ymuiden, le canal extérieur conduisant aux écluses, se trouve en ligne droite avec le chenal compris entre les jetées basses qui maintiennent, dans l'enceinte, les sables de l'estran et qui sont légèrement inclinées au sud par rapport à l'axe de celle-ci. Il a 1400 mètres de longueur, de sorte que les écluses d'entrée du canal d'Amsterdam se trouvent à 2500 mètres de la tête des môles. Pendant les gros temps de l'O. au N.O., cette distance n'est pas encore assez grande pour que les navires qui doivent, en pareils cas, avoir suffisamment de voilure pour attaquer le port sans danger, puissent perdre leur aire, et ils ont quelquefois besoin de l'aide d'un remorqueur; celui-ci fixe alors une amarre à l'arrière du bâtiment, de manière à arrêter la marche de ce dernier avant qu'il arrive aux écluses.

(1) J. F. W. Conrad. Ouvrage cité.



NOUVEAU CANAL D'AMSTERDAM. — Cette belle voie navigable est établie en tranchée depuis la mer jusqu'à Velsen, sur une longueur de 5980 mètres, et à Buitenhuizen, sur une longueur de 800 mètres. (Pl. XXVII, fig. 7). Toute la partie restante, d'une longueur de 16920 mètres, est située dans le golfe de l'Y. Le fond du canal se trouve partout à 8<sup>m</sup>,20 sous AP, et le niveau de flottaison à 0<sup>m</sup>,50 sous ce même repère, de façon à réaliser un tirant d'eau de 7<sup>m</sup>,70 entre les écluses d'Ymuiden et Amsterdam. Dans les parties en tranchée, la section transversale du canal présente 27 mètres de largeur au plafond avec des talus inclinés à raison de 2 pour 1, jusqu'à 1 mètre sous AP; à cette hauteur, il existe deux berms de 4 mètres de largeur, qui se raccordent avec des talus de même inclinaison que les précédents; ces talus se terminent au niveau des chemins de halage. Plus haut, les talus se prolongent jusqu'au terrain naturel. Le canal présente ainsi 65 mètres de largeur au niveau de AP et 63 mètres à la ligne d'eau (1).

Dans l'étendue de l'Y, la largeur du plafond est la même; les talus s'élèvent avec une inclinaison de 2 pour 1 jusqu'au terrain naturel, qui est conservé des deux côtés comme berms sur une largeur de 30 mètres. Le long de ces berms, se trouvent les digues latérales ayant 5 mètres de largeur en crête et des talus de 4 pour 1. Cette partie du canal a une largeur de 120 à 130 mètres au niveau de flottaison, suivant la profondeur plus ou moins différente du fond du golfe au droit de son emplacement; mais la largeur utile pour la grande navigation est la même que dans les parties en tranchée. A une distance de 3 kilomètres environ de la rade d'Amsterdam, le canal s'élargit et les deux digues vont en divergeant jusqu'à la rencontre des rives du golfe.

Les écluses d'entrée du canal sont placées à l'intérieur des dunes, à une distance de 1200 mètres environ de la plage; elles sont au nombre de trois. La grande écluse a 154<sup>m</sup>,40 de longueur totale, dont 120 mètres de longueur utile, et 18<sup>m</sup>,05 de largeur au niveau de AP, avec buscs placés à 7<sup>m</sup>,75 sous ce repère. Elle est munie, à chacune de ses extrémités, de portes de flot et de portes d'ebbe; la longueur du sas peut être divisée en deux compartiments, ayant respectivement 50 à 70 mètres, à l'aide de portes de flot intermédiaires. Du côté aval, les bajoyers ont 5 mètres de hauteur au-dessus de AP, et dépassent de 1<sup>m</sup>,60 le niveau moyen des hautes mers de tempête; le fruit des parements est de  $\frac{1}{20}$ .

La seconde écluse a 98<sup>m</sup>,45 de longueur totale, dont 70 mètres de longueur utile, et 12<sup>m</sup>,05 de largeur au niveau de AP, avec buscs établis à 5<sup>m</sup>,00 sous ce même niveau.

(1) Ph. Croizette Desnoyers. *Notice sur les travaux publics en Hollande.*



La troisième écluse est une écluse de décharge; elle a 33<sup>m</sup>,40 de longueur et 10<sup>m</sup>,05 de largeur, avec buses placés également à 5<sup>m</sup>,00 sous AP; elle est munie de deux paires de portes de flot et d'une paire de portes d'ebbe.

La digue-barrage de l'Y est établie à l'est d'Amsterdam, près de Schellingwoude, elle a une longueur totale de 1360 mètres. Pour maintenir la communication entre le Zuiderzee et la partie conservée du golfe, on a construit dans la digue, à 300 mètres de son extrémité nord, les écluses de Schellingwoude, appelées aussi les *écluses d'Orange*.

A l'endroit où le barrage a été élevé, la profondeur du golfe était en moyenne de 3 mètres; mais elle a augmenté sous l'action des courants, à mesure que les tronçons de la digue, commencés à partir de chacune des rives, se rapprochaient l'un de l'autre; cette profondeur atteignait plus de 8 mètres lorsque le barrage était sur le point d'être entièrement fermé.

Le fond du golfe, composé de sable et d'argile, était recouvert presque partout d'une couche de vase. Celle-ci a été préalablement enlevée et l'on a coulé, sur toute la largeur de la digue, une plate-forme en fascinage; sur cette plate-forme, et de chaque côté du profil transversal du barrage, on a immergé successivement une série d'autres plates-formes, plus petites, disposées en gradins et destinées à maintenir le noyau central, composé de sable et d'argile; les talus et la partie supérieure de l'ouvrage sont protégés à l'aide d'une couche d'argile de 1 mètre d'épaisseur au moins.

La digue a une largeur de 4 mètres en crête; sa hauteur est de + 3<sup>m</sup>,50 par rapport à AP; dans le Zuiderzee, la marée ne s'élève, en temps ordinaire, qu'à 0<sup>m</sup>,25 au-dessus du repère, et son amplitude n'est, en moyenne, que de 0<sup>m</sup>,30; mais par les gros temps, la mer monte souvent jusqu'à 2<sup>m</sup>,50 au-dessus de AP, de sorte que la crête de la digue ne dépasse que de 1 mètre environ le niveau des plus hautes mers. Les talus de la digue, du côté du Zuiderzee, sont inclinés à raison de 3 1/2 de base pour 1 de hauteur et présentent une berme de 3 mètres de largeur, placée à 0<sup>m</sup>,50 + AP; du côté du canal, les talus sont défendus au moyen d'un revêtement en enrochements; leur inclinaison est de 2 pour 1, avec berme de 5 mètres de largeur.

Les écluses de Schellingwoude comprennent trois écluses de navigation, une écluse de décharge et trois pertuis. La grande écluse de navigation a 96 mètres de longueur utile et 18<sup>m</sup>,05 de largeur au niveau de AP; les deux écluses latérales ont chacune 72<sup>m</sup>,80 de longueur utile sur 14<sup>m</sup>,05 de largeur; l'écluse de décharge a 10<sup>m</sup>,05 et les trois pertuis ont chacun 4<sup>m</sup>,00 de largeur. Les buses sont placés à la cote 4<sup>m</sup>,50 sous AP. Les écluses de navigation sont munies, à chacune de leurs extrémités, de portes de flot et de portes d'ebbe, et leur sas



est séparé en deux compartiments par des portes de flot intermédiaires. Les grandes dimensions de ces écluses, eu égard à leur faible profondeur, ont été adoptées, parce que les navires qui arrivent par le Zuiderzee, sont très-nombreux, mais n'ont qu'un faible tirant d'eau et des longueurs généralement assez restreintes.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, les eaux du canal et de la partie du golfe conservée devant Amsterdam doivent être maintenues à 0<sup>m</sup>,50 sous AP, pour assurer le dessèchement des terres situées des deux côtés du canal. Or, le niveau moyen des basses mers, se trouvant dans le Zuiderzee, à 0<sup>m</sup>,25 seulement sous AP, la décharge des eaux aux écluses de Schellingwoude ne peut se faire que par de très-basses mers; aux écluses de la mer du Nord, où la marée basse se tient moyennement à 0<sup>m</sup>,50 sous AP, l'évacuation des eaux du canal s'opère un peu plus fréquemment, mais pas suffisamment, en général, pour maintenir le canal à la cote prescrite. Afin de suppléer à ces moyens d'écoulement on a installé, près des pertuis des écluses de Schellingwoude, trois machines à vapeur, ayant chacune 75 chevaux de force, et faisant marcher trois pompes centrifuges, dont les cylindres ont 2<sup>m</sup>,44 de diamètre. Ces pompes, dont le débit total est évalué à 6000 mètres cubes par minute, fonctionnent en moyenne 90 jours par an.

Les travaux du port d'Ymuiden et du canal d'Amsterdam, dont nous venons de donner un aperçu succinct, sont certainement très-remarquables, tant sous le rapport de la conception des plans, que sous celui des difficultés d'exécution.

L'entretien de l'avant-port exige des frais annuels de dragages assez importants, mais qui ne sont pas trop élevés quand on tient compte des grands avantages que cette nouvelle voie de communication avec la mer du Nord procure au commerce de la ville d'Amsterdam.

**Port de Douvres.** — Le port de Douvres est situé sur la côte sud-est d'Angleterre, au fond d'une baie peu profonde, entourée de falaises crétacées avec lits de silex. Celles-ci entretiennent à la partie supérieure de la plage des amas de galets, auxquels succèdent des dépôts de graviers de plus en plus fins; puis on trouve le sable et exceptionnellement de la vase; en quelques endroits, le sol naturel de craie est à nu.

L'estran sous-marin, devant le port, présente une inclinaison moyenne de 2 centimètres par mètre, de sorte que les fonds de 10 mètres de profondeur sous marée basse ne sont éloignés que de 450 mètres environ du rivage; cette inclinaison se réduit de plus de la moitié, dans la partie nord de la baie.

Au large de Douvres, le courant de flot porte entre le N.E. et l'E.N.E., au moment de sa plus grande vitesse, qui atteint 1<sup>m</sup>,50 en moyenne en vive eau,



et 0<sup>m</sup>,80 en morte eau. Le courant de jusant est dirigé entre le S.O. et l'O.S.O.; sa vitesse maximum diffère peu de celle du courant de flot.

L'amplitude de la marée est de 5<sup>m</sup>,80 en vive eau, et de 4<sup>m</sup>,00 en morte eau.

Au nord de la baie de Douvres, on rencontre la rade des Dunes, qui s'étend le long de la côte, de Kingsdown à Ramsgate, et qui est abritée par les sables du Goodwin. Cette rade, de même que ses abords, est signalée à l'aide de nombreuses bouées et de feux-flottants. Elle comprend plusieurs chenaux, dont le principal est le Gull-stream, qui sépare le Goodwin du banc de sable de Brake et des divers plateaux existant devant Ramsgate. Les navires mouillent généralement dans la partie de la rade des Dunes comprise entre les châteaux de Walmer et de Sandown, en face de la ville de Deal, où ils trouvent 14 mètres d'eau sur un fond de craie.

Le port de Douvres ne comprenait primitivement qu'un chenal de 40 mètres de largeur, ouvert au S.E. et bordé de deux jetées en bois coffrées en pierres, un avant-port, un bassin à flot et une retenue placée en amont du bassin. Les chasses de la retenue et du bassin servaient à entretenir l'avant-port et à repousser le galet qui tendait à barrer le chenal de l'ouest vers l'est. A l'entrée du port, le fond se trouvait généralement à 0<sup>m</sup>,50 environ au-dessus du niveau des basses mers de vive eau.

En 1844, une commission spéciale, présidée par l'amiral Byam-Martin, désigna la baie de Douvres comme le point le plus favorable de la côte sud-est d'Angleterre pour la création d'un grand port de refuge ou rade couverte, susceptible de recevoir, non seulement les grands navires de commerce, mais encore les vaisseaux de la Marine militaire.

De nombreux projets ont été successivement proposés et discutés; on peut les classer en deux catégories: dans ceux de la première catégorie, les jetées sont disposées de manière à laisser, soit une seule et large ouverture, soit une série de passes plus étroites dans chacune des branches limitant l'enceinte à l'est et à l'ouest. (Pl. XXVIII).

Cette disposition avait pour but, à part les considérations nautiques, de permettre aux courants de marée de circuler librement à travers le port, et de prévenir ainsi l'accumulation du galet le long des jetées, mais surtout l'envasement à l'intérieur.

Dans le même ordre d'idées, sir John Rennie proposa de construire un breakwater, et, à l'intérieur de celui-ci, deux môles perpendiculaires à la côte pour l'accostage des navires.

Il fut objecté à ces solutions, qu'avec de larges passes aux extrémités est et



ouest de l'enceinte, et plus encore avec un simple breakwater, le port resterait exposé aux vents régnants et à la grosse mer, et qu'il n'offrirait pas de sécurité pour les navires, tandis qu'une série de passages étroits ne sauraient maintenir efficacement le courant de marée à travers le port.

Les projets de la seconde catégorie comprennent une enceinte fermée, dont la forme se rapproche de celle du trapèze et qui n'offre qu'une ou deux passes d'entrée, établies dans le môle sud; il en est cependant qui comprennent une seconde passe, moins large, réservée dans la jetée est. (Pl. XXVI).

La commission de 1846, chargée de donner son avis sur les divers projets présentés, redoutait beaucoup moins les effets du mouvement du galet le long de la côte que les dépôts de vase à l'intérieur du port. Voici comment elle s'exprimait sur ces questions capitales :

« Nous n'avons pas perdu de vue que le galet est une des grandes objections que l'on oppose à la création d'un port dans la baie de Douvres; et les efforts infructueux faits jusqu'à ce jour pour empêcher son entrée dans le port actuel, viennent corroborer cette crainte; mais le résultat de notre enquête sur ce sujet est que cette crainte n'est pas bien fondée; et la majorité des ingénieurs affirme, que le mouvement du galet, le long d'une côte, peut être arrêté quand on le veut.

« Nous ne croyons pas nécessaire de nous étendre sur ce sujet, nous ne pouvons que renvoyer au témoignage de plusieurs ingénieurs éminents, et nous exprimons l'opinion formelle, que l'appréhension du galet ne doit pas être une objection qui empêche la création du port de Douvres.

« La question des vases présente un obstacle bien plus formidable, et cet obstacle, quoique moins apparent, constitue la principale difficulté pour arrêter un projet.

« Les expériences faites sur la demande de la commission de 1844, pour déterminer la quantité de vase en suspension dans l'eau de la baie de Douvres, ont eu lieu de février à septembre 1845.

« Peu de ports échappent à l'inconvénient des dépôts, et, si la possibilité d'un envasement devait être une objection à la création des ports artificiels, il faudrait renoncer à en créer en un point quelconque des côtes de l'Angleterre. Nous ne voulons donc pas poursuivre l'impossible, puisqu'il arrivera toujours que la plus grande partie des matières en suspension dans l'eau entrant dans un port, se déposera avec plus ou moins de rapidité suivant le plus ou moins de calme du port, et puisqu'une portion seulement des matières légères, susceptibles de rester en suspension, sera entraînée en dehors par le jusant. »



Dans l'opinion de la commission de 1846, le moyen le plus efficace pour prévenir l'envasement intérieur, consiste à n'admettre dans le port que la quantité d'eau strictement nécessaire pour y maintenir le niveau, sans provoquer un courant sensible à l'intérieur. Pour ce motif, elle est d'avis qu'aucune ouverture ne doit être laissée dans les branches est et ouest de la digue, mais que la tendance au dépôt des vases et aussi la marche du galet exigent que les passes d'entrée ne soient placées que sur le côté sud, dans le sens direct du courant de marée; deux passes de 700 pieds (213 mètres) chacune lui paraissent suffisantes à cet effet, et elle considère cette largeur comme assez grande pour permettre l'entrée et la sortie des navires.

La commission de 1846 termine l'examen de la question de l'envasement intérieur en disant :

« La tendance au dépôt par diffusion, provenant de ce que l'eau plus chargée à l'extérieur tend à rétablir l'équilibre avec l'eau moins chargée de l'intérieur, ne doit pas être négligée, bien que nous soyons d'avis que ce dépôt ne présentera pas grande importance.

« Après avoir étudié la question à tous les points de vue, nous sommes convaincus que la crainte de l'envasement ne doit pas être considérée comme un obstacle à la construction du port projeté, pourvu que les passes soient placées au sud, comme nous l'avons recommandé. »

A la suite de ce rapport, on commença, en 1847, la construction de la jetée ouest, dite *de l'Amirauté*. Cette jetée part de l'ancien épi, appelé Cheesmans'head, situé à l'ouest du chenal, et présente deux alignements droits dirigés respectivement vers le S.E.  $\frac{1}{4}$  S. et le S.E.  $\frac{1}{4}$  E.; elle a une longueur totale d'environ 650 mètres, et se termine par une partie recourbée vers l'E.N.E. dans les fonds de 12 mètres de profondeur.

La forme adoptée pour le corps de la jetée est celle d'une muraille à peu près verticale, dont le parement régulier descend jusqu'au fond de la mer; tout le massif se compose, sauf la partie située près du couronnement, de blocs ayant la forme d'un parallépipède droit; ceux du parement sont en pierres dures naturelles, ceux de l'intérieur sont artificiels. (Pl. XXX, fig. 8).

La jetée de l'Amirauté est construite sur sa longueur actuelle depuis 1865. Le gouvernement anglais paraît avoir renoncé depuis à continuer cet ouvrage.

Voyons quelle a été l'influence de la jetée de l'Amirauté sur la marche du galet le long du rivage et sur la situation du port de Douvres.

En 1873, la perte du galet dans la baie de Sainte-Marguerite fut l'objet d'une pétition de la part des propriétaires des maisons situées sur le rivage, qui



attribuaient l'amaigrissement de la plage au « changement causé dans l'action des courants, par l'extension du môle de Douvres. »

La cour de Commerce chargea alors sir John Coode, d'examiner la question et de faire toutes les recherches nécessaires. Cet ingénieur constata que le galet diminuait en effet dans la baie de Sainte-Marguerite et il signala, dans son rapport, une série de faits très-intéressants dont voici les principaux :

D'après les témoignages des plongeurs ayant travaillé depuis de longues années au môle de Douvres, le galet ne s'est jamais accumulé contre cet ouvrage sous la marée basse et ne s'y est jamais déplacé le long du sol.

Des plans dressés en 1847 prouvent qu'il y a eu perte sur les berges à l'ouest du môle de 1847 à 1873. L'estran a été si complètement dénudé de galet au pied du rocher Shakespeare, que deux éboulements assez considérables ont eu lieu en cet endroit au commencement de 1873 ; l'un d'eux a entraîné une partie du mur de revêtement existant à l'entrée du tunnel du chemin de fer de la compagnie du South-Eastern.

Vis-à-vis de la station de Lydden Spout, qui se trouve à deux milles et demi environ dans l'ouest de Douvres, la côte s'appauvrit également d'une manière notable ; les mêmes effets se constatent en divers points situés au delà de Folkestone, et notamment près de Sandgate et de Hythe.

Immédiatement à l'ouest de la jetée du port de Folkestone, il se produit au contraire une accumulation de galets. Depuis 1856, époque de la construction de cet ouvrage, jusqu'en 1873, la côte s'est avancée d'environ 120 pieds sur une longueur de 500 pieds. L'accroissement a surtout été rapide au début ; au bout des 7 premières années, il était de 90 pieds.

A la suite de cette enquête, sir John Coode conclut que la diminution du galet dans la baie de Sainte-Marguerite n'a pas été causée par l'extension du môle de l'Amirauté, et dit à ce sujet :

« Pour rencontrer des arguments qui seront probablement invoqués à l'effet de démontrer que le nouveau môle à Douvres a produit une diminution de galet sur les berges de la localité, en détournant les courants de marée, je puis dire, après avoir consacré beaucoup de temps et d'attention à cette question dans les différentes parties de la côte du royaume, que les mouvements du galet ne sont que fort peu influencés par les courants de marée dans [certaines circonstances et que, dans la grande majorité des cas, ils ne le sont pas du tout ; or, il n'y a rien dans les conditions de la côte de Douvres pour former une exception à cette règle.

« Que l'arrêt du galet occasionné par la construction de la jetée et des



travaux de la compagnie du chemin de fer à Folkestone, soit intervenu, mais dans un degré comparativement limité, dans la diminution des amas de galets observée à l'est de ce port, est, je pense, hors de doute; mais en présence des faits établis concernant la diminution du galet à l'ouest de Folkestone, près de Sandgate, de Hythe, etc., il est évident que la cause doit se trouver ailleurs; et, après un examen soigneux de tous les faits se rattachant à la question, je suis arrivé à la conclusion, que cela est dû à la forte accumulation du galet à Dungeness et à la saillie qui en est résultée en cet endroit de la côte. Afin d'obtenir une indication exacte des circonstances, j'ai analysé les documents que j'ai pu me procurer à Trinity-House et j'en ai déduit les faits suivants: que depuis l'année 1792 jusqu'en 1850, la pointe de Dungeness s'est avancée dans la mer de 530 pieds, soit en moyenne de 9 pieds par an, tandis que de 1850 jusqu'en 1871, l'avancement était de 280 pieds, soit d'environ 13 à 14 pieds en moyenne par an. La ligne du rivage, sur une petite distance au nord de la pointe et sur une distance considérable à l'ouest, s'est avancée dans la mer à un degré correspondant et cet arrêt à Dungeness, par suite de causes naturelles, d'une grande masse de galets, augmentant progressivement, explique l'appauvrissement de la côte à l'est de cet endroit.

« Pour corroborer cette conclusion, M. Druce, Ingénieur du port de Douvres, m'informe que, pendant les fréquentes visites qu'il a eu l'occasion de faire aux travaux de Rye-Havres (à environ 9 milles à l'ouest de Dungeness) pendant les 15 dernières années, il a remarqué que l'accumulation du galet en ce point a été très-considérable et s'est augmentée graduellement, d'où il paraît résulter que l'influence de l'avancement de Dungeness se fait sentir à une distance considérable à l'ouest. La circonstance que l'effet produit en cet endroit a été directement contraire à celui qui se produit à l'est, avec la seule exception observée à Folkestone et dont il a été fait mention ci-dessus, n'est qu'une confirmation plus forte de la conclusion à laquelle je suis arrivé, à savoir, que la diminution du galet, non seulement dans la baie de Sainte-Marguerite, mais aussi le long de la côte à l'est et à l'ouest de Douvres, n'est pas due au môle de l'Amirauté, mais surtout à des causes naturelles opérant à Dungeness et près de cette pointe. »

La construction de la jetée de l'Amirauté n'a donc pas eu grande influence sur le mouvement du galet le long de la côte de Douvres; l'effet de la pointe de Dungeness prédomine et intervient comme le principal élément dans le régime du galet en cette partie du littoral anglais.

Ce môle préserve actuellement le port de Douvres des galets qui se déplacent, par des vents S.O. surtout, à l'est de Folkestone; la quantité de galets provenant



d'une étendue de plage aussi limitée, est relativement peu importante, mais lorsqu'elle s'accumulait près du chenal de Douvres, qui ne forme qu'une issue restreinte à travers l'estran, elle y causait des embarras sérieux. Dès que le môle de l'Amirauté fut construit, les galets déposés à l'entrée ont été entraînés vers l'est sous l'action des lames et n'ont plus été remplacés; on a creusé le banc de craie mis ainsi à nu à l'extrémité et en aval de la tête des jetées, et l'on a pu supprimer les chasses.

Depuis l'existence de la nouvelle jetée, les dépôts annuels de vase à l'intérieur du port paraissent avoir diminué également; mais ce fait peut s'expliquer par cette circonstance que les eaux des égouts, qui se déversaient primitivement dans le port, se déchargent actuellement à l'ouest du môle. Dans l'opinion de M. Druce, la diminution de l'envasement peut provenir aussi de ce que les eaux amenées par le flot, avant de passer devant l'entrée du chenal, doivent contourner le musoir de la jetée et sont moins chargées que si elles circulaient librement le long de la côte.

Quoi qu'il en soit, il ne serait pas possible de juger, d'après les effets observés au port de Douvres depuis la construction de la jetée de l'Amirauté, quel résultat on obtiendrait sous le rapport de l'ensablement et de l'envasement, si l'on y établissait une rade fermée.

Aujourd'hui les courants, après avoir contourné le môle, produisent à l'est du port, des remous et des contre-courants qui attaquent la berge et occasionnent des dépôts en certains endroits de la baie. Mais ces déplacements d'alluvions n'auraient certainement plus lieu de la même manière, dans le cas d'une enceinte fermée.

Sir John Hawkshaw fut chargé en 1873, par le gouvernement anglais, d'étudier un nouveau projet, de concert avec le Colonel sir Andrew Clarke; il proposa la disposition indiquée pl. XXVI., et exprima l'avis que, dans ces conditions, les passes du large resteraient libres, comme la tête de la jetée de l'Amirauté est libre actuellement, et que les dépôts qui se sont faits à l'est de cet ouvrage sous l'action des remous, ne pourraient se produire qu'en dehors de l'enceinte, en des endroits où ils ne peuvent pas nuire à la navigation.

L'intérieur de l'enceinte serait sans aucun doute exposé aux envasements; mais les eaux qui circulent dans la rade de Douvres ne paraissent pas fortement chargées; nous avons déjà dit que, d'après les expériences du capitaine Washington, les matières en suspension dans ces eaux, si elles se déposaient complètement, ne donneraient qu'un dépôt de vase solide de 0<sup>m</sup>,0762 d'épaisseur par an. On peut donc prévoir avec raison, que les dragages d'entretien qu'il y aurait à faire



pour maintenir, devant Douvres, un vaste avant-port, ne seraient pas trop grands.

**Port de Kingstown.** — Le port de Kingstown a été construit à l'intérieur et près de la pointe méridionale de la baie de Dublin, dans le canal Saint-Georges.

Le régime des courants qui se propagent à travers ce canal a beaucoup d'analogie avec celui des courants de la Manche. Il s'explique également par l'interférence de deux ondes opposées, mais dont les caractères distinctifs sont propres au cas de deux ondes *égales* <sup>(1)</sup>.

La direction du courant de flot, au large de Kingstown, reste comprise entre le N. et le N.N.E. et celle du courant de jusant entre le S. et le S.S.O. En entrant dans la baie, le courant de flot s'incline vers le N.O., puis il porte successivement vers l'O. et le N.E.  $\frac{1}{4}$  E., pour reprendre ensuite sa direction primitive; le courant de jusant, en passant au sud du Hill de Howth, court vers l'O., suit à peu près l'orientation du rivage et quitte la baie suivant une direction S.S.E.

L'amplitude moyenne de la marée est de 3<sup>m</sup>,50 en vive eau, et de 2<sup>m</sup>,70 en morte eau.

On rencontre sur la côte est de l'Irlande, dans toute l'étendue du canal Saint-Georges et de la mer d'Irlande, des roches appartenant au terrain silurien inférieur et au terrain cambrien, ainsi que du granit et des pierres calcaires.

A l'intérieur de la baie de Dublin, la côte est formée de roches granitiques au sud, et de roches calcaires dans la partie restante. Le fond y est encombré par les plateaux de sable et par les dépôts de vase de l'estuaire de la Liffey; mais, à partir d'une certaine distance du rivage, on ne trouve plus que des dépôts de sable.

Le port de Kingstown date de 1825, il se compose de deux môles entièrement construits à pierres sèches et à pierres perdues, abritant une surface d'environ 100 hectares et laissant entre eux une passe d'entrée de 235 mètres de largeur. Ces môles s'avancent à 975 mètres de distance environ du rivage et se terminent aux fonds de 7 à 8 mètres de profondeur sous marée basse.

La largeur et la direction de la passe d'entrée ont donné lieu, dès le début, à de nombreuses discussions. L'ouverture adoptée paraît un peu grande et lorsque le vent souffle perpendiculairement à l'entrée, il se produit une assez forte houle à l'intérieur du port. Pour remédier à cet inconvénient, on a proposé

<sup>(1)</sup> Voir page 21.



de diminuer la largeur de la passe et même de modifier sa direction; ces projets, malgré l'opinion autorisée de quelques praticiens, n'ont pas été admis. D'autres ingénieurs ont émis l'idée de protéger l'entrée au moyen d'un breakwater isolé; mais on a craint que ce moyen, fort coûteux d'abord, eût pu faire dévier les courants vers l'intérieur du port et provoquer ainsi des ensablements dangereux.

Ceux-ci ne sont actuellement pas du tout à craindre, et Kingstown offre, sous ce rapport, l'exemple d'un avant-port des mieux réussis, quoiqu'il se trouve à l'entrée d'une baie directement ouverte aux mauvais vents du large et où il existe de nombreux dépôts de sable.

Ce résultat doit être attribué à la situation hydrographique des fonds qui s'étendent au large du port, et aussi à la disposition des jetées par rapport à la direction des courants de marée.

On remarquera en effet que l'estran sous-marin, situé au sud de la baie, se raccorde par un talus fort raide avec le chenal profond compris entre le banc de Burford et la ligne reliant les pointes rocheuses de Dalkey et de Bailey. Le port de Kingstown est placé précisément sur ce talus, lequel se maintient dans une situation relativement stable sous l'action des courants de flot et de jusant, qui circulent devant la baie.

Dans ces conditions, les vagues ne peuvent, en temps ordinaire, occasionner des déplacements bien notables dans les matières du fond aux environs du port, et les fortes lames du large, dues principalement aux vents du S.E., pénètrent dans la baie, en suivant la côte rocheuse et profonde qu'on rencontre depuis la pointe de Dalkey jusqu'à Scotch-Bay, passent ensuite devant le port et vont se briser sur les hauts-fonds de l'estuaire de la Liffey. Ainsi que la situation des fonds de la baie l'indique d'ailleurs, les sables soulevés tendent à s'accumuler de part et d'autre de l'embouchure de cette rivière et près du Hill de Howth.

Les courants de marée produisent de même un transport définitif des sables vers le nord, et, comme la passe d'entrée du port est orientée de manière à être rasée par ces courants, elle est préservée par là même de tout ensablement.

Mais un fait plus remarquable encore, c'est que l'enceinte du port de Kingstown est à peu près exempte des envasements à l'intérieur. A part une légère tendance à l'exhaussement qui se manifeste le long des jetées, les dépôts y sont insignifiants et ne paraissent pas atteindre plus de 3 pieds d'épaisseur au bout de cinquante ans. Aussi les dragages d'entretien que l'on exécute à Kingstown, ne dépassent généralement pas 6000 à 8000 mètres cubes par an; ils servent spécialement à enlever un petit plateau qui se forme à l'intérieur des jetées, non loin de l'entrée. Cet atterrissement résulte probablement de ce



que le courant de jusant amène et dépose à chaque marée, près de la tête des môles, une certaine quantité de sable, laquelle est entraînée vers l'intérieur par le courant de flot suivant; il semble provenir aussi des remous que ce dernier courant produit en pénétrant dans le port.

L'absence des apports de vase dans l'enceinte de Kingstown a été expliquée de différentes manières. L'amiral Washington, dans son rapport de 1875 sur le projet d'un nouveau port à Douvres, dit à ce sujet :

« Les causes auxquelles il faut attribuer la bonne tenue du port de Kingstown sont, sans aucun doute, l'heureuse disposition de son entrée exactement dans la direction des courants de flot et de jusant; la proportion de cette entrée avec l'espace qui se vide et se remplit à chaque marée, et par laquelle il n'entre et ne sort qu'un courant insensible; sa forme circulaire, sa petite profondeur d'eau et sa superficie qui est assez étendue pour permettre un certain degré d'agitation, et ceci est, je crois, le principal remède contre les dépôts. »

Dans une étude sur les ports anglais, M. Calver attribue le bon maintien du port de Kingstown au grand degré de pureté des eaux qui le remplissent; il cite à ce propos l'opinion de sir N. Cubitt qui a déclaré devant la commission du port de refuge de Douvres, qu'il connaissait très-bien Kingstown, qu'il l'avait observé de marée en marée et de semaine en semaine, et qu'il ne vient là que des eaux claires et bleues de l'Océan.

Nous croyons que l'opinion de M. Calver est la mieux fondée; car il est à noter que le port se remplit par les eaux du courant de flot, lesquelles, en arrivant du large, longent la côte rocheuse et accore existant au sud de la baie, et doivent être très-peu chargées de vase; tandis que les eaux du jusant qui entraînent les matières soulevées dans l'estuaire de la Liffey, passent devant le port au moment où il se vide et ne peuvent par conséquent occasionner des dépôts importants à l'intérieur de l'enceinte. Remarquons d'un autre côté que l'étendue des fonds vaseux de cet estuaire n'est relativement pas très-grande, et que les matières qui y sont mises en suspension, après s'être mélangées à la masse des eaux qui se meuvent dans la baie, ne peuvent donner à celles-ci qu'un faible degré de saturation. Sous ce rapport, l'influence des alluvions amenées directement par la Liffey, est évidemment beaucoup moindre encore.

**Port de Howth.** — Le port de Howth est placé immédiatement au nord de la baie de Dublin et comprend, comme Kingstown, une enceinte abritée au moyen de deux jetées à pierres perdues; sa superficie n'est que de 35 hectares, dont la moitié environ assèche à marée basse.

On ne trouve, en basse mer, que 3<sup>m</sup>,50 d'eau devant la tête des jetées; à



l'intérieur du port, la profondeur est variable, mais elle ne dépasse nulle part 2<sup>m</sup>,50. La passe d'entrée a un peu plus de 100 mètres de largeur; elle est abritée contre les vents du N. au N.E. par l'île de Irelands-Eye.

Ce port se trouve dans une situation hydrographique très-défavorable et toute différente de celle de Kingstown. Il débouche dans des fonds de peu de profondeur et qui tendent naturellement à s'exhausser, de sorte que les matières meubles du fond y sont facilement remuées et rejetées vers la passe d'entrée. D'autre part, les courants de jusant amènent les sables et le sable vaseux des dépôts existant le long de la côte au nord de Howth, et les déposent en quantités plus ou moins considérables sur les fonds situés devant le port, d'où ils sont ensuite refoulés vers l'intérieur, par l'action combinée des lames et des courants de flot. Les eaux transportées par ces derniers courants et qui passent devant l'enceinte du port, pendant qu'elle se remplit, entraînent les vases de l'estuaire de la Liffey et ajoutent encore à ces causes d'envasement.

Aussi le port de Howth a été rapidement envahi par les alluvions; depuis la construction de celui de Kingstown qui sert aujourd'hui au service rapide à heure fixe entre l'Angleterre et l'Irlande, ce n'est plus qu'un simple port de pêche.

## II. — PROJET D'ÉTABLISSEMENT D'UN PORT A HEYST.

La côte de Heyst présente ce caractère particulier d'avoir un estran fort amaigri, dont l'inclinaison est plus prononcée qu'en tout autre point du littoral des Flandres. Les dunes y ont une épaisseur extrêmement faible et sont protégées, en divers endroits, contre l'action érosive de la mer au moyen de perrés et de coffres en pierrailles.

Cette situation, dont nous avons expliqué les causes au chapitre IV, existe depuis longtemps et, malgré les nombreux épis qui se trouvent devant cette partie de la côte, l'estran y a conservé une tendance nettement accusée à s'appauvrir. Le talus sous-marin précédant la plage est raide et se raccorde, dans le voisinage des écluses de Heyst, à une distance de moins de 800 mètres du rivage, avec des fonds de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50 de profondeur sous marée basse, lesquels se maintiennent sensiblement au même niveau jusqu'au banc du Binnen-Paardemarkt.

Ce banc s'étend dans une direction à peu près parallèle au rivage et à une distance d'environ 2000 mètres de celle-ci; la partie est du plateau, comprise entre le village de Knocke et le Zwyn, n'offre que 0<sup>m</sup>,60 à 2<sup>m</sup>,00 d'eau à marée basse; la partie ouest est plus profonde; on y sonde près de 5<sup>m</sup>,00 devant



Heyst. La profondeur de la fosse séparant ce banc de la côte est de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50 à l'ouest des écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys; elle atteint jusqu'à 8 et 10 mètres devant le village de Knoeke.

Immédiatement à l'ouest du Binnen-Paardenmarkt se trouve la dépression avec 6<sup>m</sup>,20 d'eau à marée basse au moyen de laquelle les fonds de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50, situés près de la côte, communiquent avec ceux de la passe de Wielingen. L'étude des modifications survenues successivement depuis trois quarts de siècle dans les fonds sous-marins de l'atterrage de Heyst, nous a d'ailleurs permis de conclure qu'aucun changement n'est à craindre dans le régime des bancs et des passes de ces parages maritimes, qui soit de nature à modifier les conditions actuelles d'accès de la passe du Wielingen vers la côte.

L'amplitude des marées moyennes de vive eau, observées aux écluses d'évacuation des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys, est de 4<sup>m</sup>,48. Le niveau moyen des basses mers de morte eau se trouve à 0<sup>m</sup>,80 et celui des hautes mers de morte eau à 3<sup>m</sup>,58 au-dessus du niveau moyen des basses mers de vive eau.

Dans la fosse de Heyst, la vitesse maximum du courant de flot, en vive eau, est de 1<sup>m</sup>,40 et celle du courant de jusant, de 1<sup>m</sup>,30 par seconde. La direction du courant de flot, au moment de sa plus grande vitesse, laquelle se produit vers l'heure de la haute mer, est E.N.E.; celle du jusant, au moment de sa plus grande vitesse, soit vers l'heure de la basse mer, est O.S.O. En morte eau, la vitesse maximum des courants de flot et de jusant est respectivement de 0<sup>m</sup>,75 et de 0<sup>m</sup>,65 par seconde; la direction de ces courants, au moment de leur plus grande vitesse, ne diffère pas sensiblement de celle que l'on observe pendant les marées de vive eau.

M. de Maere-Limnander, dans sa brochure intitulée *d'une communication directe de Bruges à la mer*, propose de construire près de Heyst, à l'ouest et à 1250 mètres des écluses d'évacuation établies au débouché des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys, un port en eau profonde, comprenant, comme celui d'Ymuiden, une enceinte formée par deux jetées insubmersibles, qui s'avanceraient en mer jusque dans les fonds de 7<sup>m</sup>,00 sous le niveau de marée basse.

Sur le plan annexé à cette brochure, les jetées sont éloignées de 1000 mètres à l'origine et comprennent une surface de 60 hectares. (Pl. XXIX). La jetée de l'ouest, de 1100 mètres de longueur, dépasse celle de l'est et est légèrement recourbée de façon, dit l'auteur « à conduire la vague au delà de l'entrée du port et à maintenir la profondeur dans la passe; » celle-ci débouche dans les fonds de 7<sup>m</sup>,00 sous marée basse; sa largeur est fixée à 300 mètres.



Dans un plan de publication plus récente, M. de Maere apporte certaines modifications dans la disposition des jetées; il propose de les faire symétriques, en les terminant par un élément droit, parallèle à la côte et raccordé avec les ailes est et ouest au moyen d'une partie courbe peu différente de l'arc de cercle. La largeur de la passe est réduite à 200 mètres. (Pl. XXIX).

L'avant-port, ainsi formé, donnerait accès à une grande écluse à sas, placée en tête du canal maritime conduisant vers de nouveaux bassins de commerce, à créer à Bruges.

Le canal maritime projeté s'étend en ligne droite de la mer au bassin actuel de cette ville. Il ne présente qu'un seul bief de 12 000 mètres de longueur; sa largeur est de 20 mètres au plafond et de 62 mètres au niveau de la flottaison, fixé à la cote 4<sup>m</sup>,04 au-dessus du zéro d'Ostende; sa profondeur sous ce niveau est de 7<sup>m</sup>,00. Le canal serait alimenté exclusivement par l'eau de la mer.

L'écluse aurait 20 mètres de largeur et se composerait de deux têtes comprenant un sas intermédiaire; chaque tête serait munie d'une double paire de portes avec des buscs placés à 7<sup>m</sup>,00 sous la ligne d'eau; le sas serait terminé latéralement par de simples talus avec perrés, et aurait 200 mètres de longueur et 62 mètres de largeur à la flottaison.

La partie importante du projet de M. de Maere est évidemment celle qui se rapporte à la création et au maintien de l'avant-port, et c'est la seule dont nous ayons à nous occuper ici.

Si l'on commence par se placer au point de vue purement nautique, il est à remarquer d'abord que la côte de Heyst n'est pas précédée d'une rade abritée, car le banc du Binnen-Paardemarkt n'est ni assez puissant, ni assez élevé pour que l'on puisse considérer comme telle la fosse allongée située au sud de ce banc. Mais dans l'opinion de l'auteur, l'enceinte formée par les jetées constituerait elle-même « une rade de refuge où, en cas de gros temps, se remiseront les navires de toute provenance et de toute destination qui passent au large de nos côtes. »

« L'avant-port de Heyst, dit encore M. de Maere, se présentera comme celui d'Ymuiden, celui de Douvres, ceux de Boulogne et de Scheveningen (en projet), et tant d'autres, droit devant le plein, sans qu'un brise-lames, un banc artificiel ou naturel viennent en abriter l'entrée. »

Cette appréciation n'est pas exacte.

Les ports cités comme exemples sont précédés en effet, à partir des fonds de 7 à 8 mètres sous marée basse, d'un talus sous-marin qui n'est encombré par aucun banc, comme à Ymuiden et à Douvres, ou qui offre des passes larges et profondes, comme à Boulogne. Encore est-il à noter que de pareils



ports ne présentent pas la même facilité d'accès qu'une bonne rade couverte, soit naturelle, soit artificielle.

Au port d'Ymuiden, par exemple, les steamers entrent et sortent sans difficulté pendant les gros temps ordinaires, tandis que les navires à voiles ont alors recours aux remorqueurs. Mais lors des fortes tempêtes du N.O., les vagues viennent se briser avec une telle violence contre la tête des môles et y atteignent des hauteurs si considérables, que ce n'est pas sans danger que les steamers, comme les voiliers, peuvent attaquer le port dans ces circonstances. L'expérience a montré du reste, nous l'avons dit précédemment, que l'enceinte du port d'Ymuiden, malgré sa forme évasée qui doit favoriser l'épanouissement des lames, et malgré la hauteur relativement grande de ses môles, ne constitue pas un lieu de stationnement où les bâtiments de mer, et moins encore les petits navires, soient en sécurité pendant les tempêtes; elle ne sert que de passe d'accès conduisant aux écluses du canal maritime.

On a émis l'idée de protéger le port d'Ymuiden à l'aide d'un breakwater, afin de réaliser devant l'entrée une eau suffisamment calme pour permettre aux navires de jeter l'ancre et de passer ensuite dans l'enceinte, sans courir risque d'être lancés à la côte, ou de se briser contre la tête des jetées.

Dans l'opinion de beaucoup de marins, l'existence d'un breakwater remplirait le but à atteindre, à la condition d'être établi à une distance de 1500 mètres au moins de la côte et d'avoir une longueur assez grande pour donner une eau relativement tranquille devant l'emplacement du port. Mais un ouvrage de ce genre donnerait lieu à une dépense considérable, et l'on ne saurait que difficilement dire d'avance quelle devrait être sa longueur pour obtenir le résultat désiré <sup>(1)</sup>.

Afin d'éviter le coût énorme auquel entraînerait la construction d'un breakwater, des ingénieurs ont proposé de placer, devant le port d'Ymuiden, des brise-lames flottants; ceux-ci offriraient en outre l'avantage de contrarier le moins possible le régime des courants et la propagation des eaux d'émission du port vers le large, en prévenant ainsi les dangers d'envasement qui pourraient résulter de l'existence d'une digue fixe. La pl. XXVII, fig. 5, représente le dispositif préconisé par MM. W. Croker et Burn. Le brise-lames se compose de 45 bouées en fer galvanisé, de forme cylindrique, ayant 15<sup>m</sup>,25 de diamètre extérieur et maintenues en place au moyen de fortes chaînes d'ancrage. Ces bouées, distantes l'une de l'autre de 15<sup>m</sup>,00 environ, occuperaient une longueur de 1400 mètres, longueur qui semblait

(1) Voir page 248.



suffisante pour atténuer la force des vagues devant la tête des jetées, au point de rendre l'entrée du port praticable par les plus mauvais temps.

On a objecté avec raison que ce dispositif présenterait de graves inconvénients, à cause des dangers de déplacement et de destruction auxquels les bouées seraient nécessairement exposées, et qu'il ne paraissait pas pouvoir constituer un abri efficace pour les navires.

Un essai de ce genre avait du reste été tenté, en 1846, au port de la Ciotat, dans le Département des Bouches-du-Rhône, sans donner aucun résultat. Les appareils du brise-lames consistaient en des coffres en charpente à claire-voie et à mailles serrées, ayant 50 mètres de long sur 10 mètres de large. (Pl. XXVII, fig. 6). Chacun d'eux était fixé à des ancrs au moyen de six chaînes en fer. Les coffres étaient placés suivant deux rangées parallèles; les vides laissés entre ces coffres dans l'une des rangées correspondaient aux pleins de l'autre. Mais ce système ne pouvait être tenu en place; pendant les tempêtes, les appareils furent disloqués et emportés, et l'on a fini par les enlever tous, comme ne répondant aucunement au but qu'on s'était proposé.

D'autres expériences, faites en Angleterre dans le même ordre d'idées, n'ont pas mieux réussi.

Ne nous arrêtons pas davantage aux inconvénients que présentent, en général, les ports conçus dans le système de celui d'Ymuiden, lorsqu'ils sont établis sur une côte ouverte à tous les vents du large, et en tant qu'il s'agit de les considérer comme des ports de refuge, et revenons au port projeté à Heyst.

Il a été dit plus haut que les conditions d'accessibilité, en ce point du littoral des Flandres, sont toutes différentes de celles que l'on trouve devant l'emplacement des ports en eau profonde, que l'auteur cite comme exemples. A Heyst, l'entrée déboucherait, il est vrai, dans des fonds de 7<sup>m</sup>,00 sous marée basse; mais ces fonds se maintiennent sensiblement au même niveau jusqu'au Binnen-Paardemarkt, et ne communiquent avec ceux du large que par une dépression existant sur le plateau Het Zand d'environ 1000 mètres de largeur, avec 6<sup>m</sup>,20 d'eau seulement à basse mer. Le port ne serait donc pas ce qu'on appelle *un port en eau profonde*, puisqu'il ne serait accessible, à marée basse, qu'à des navires de 5<sup>m</sup>,00 à 5<sup>m</sup>,75 de tirant d'eau, suivant la direction du vent et le creux de la lame.

C'est ce que la commission, chargée en 1878 de l'examen du projet de M. de Maere, a fait ressortir en premier lieu; son avis sur ce point est formulé dans les termes suivants :

« Le port projeté par M. de Maere ne présenterait pas, sous le rapport de



l'accessibilité, l'avantage d'être un port en eau profonde, praticable en tout temps et à toute heure de la marée aux plus forts bâtiments de commerce. Ce port, par suite du peu de profondeur du plateau Het Zand, que les navires auraient à traverser pour se rendre de la passe du Wielingen vers la fosse de Heyst, ne serait accessible, à marée basse, qu'aux navires d'un tirant d'eau de 5 mètres; les navires calant 6 mètres pourraient se diriger vers l'entrée du port pendant 8 heures et ceux calant 7 mètres pendant 4 à 5 heures seulement, en moyenne, à chaque marée. »

Les profondeurs sont calculées à l'aide du diagramme moyen de la marée observée devant Heyst, et en fixant à 1<sup>m</sup>,20 la déduction qu'il convient de faire pour tenir compte du creux des lames.

Comme les fonds du Zand, à l'endroit de la dépression avec 6<sup>m</sup>,20 d'eau, ont relativement beaucoup de fixité, on pourrait sans doute, avec chance de succès, approfondir cette dépression par le dragage; mais les fonds qui conduisent, à l'intérieur du plateau, vers l'emplacement du port projeté, n'ont guère plus de 7<sup>m</sup>,00, de sorte que l'amélioration que l'on réaliserait de cette façon, ne serait pas bien grande.

Les conditions d'accessibilité de la fosse de Heyst, telles qu'elles viennent d'être définies, sans être excellentes, ne sont cependant pas de nature à exclure la création d'un port de premier ordre à l'endroit désigné. Les grands navires entrent en effet en tout temps et à toute heure de la marée dans la passe du Wielingen. Pour se diriger de là vers le port projeté, ils n'auraient, en temps ordinaire et par les grosses mers les plus fréquentes, qu'à régler leur marche de manière à traverser la dépression du Zand vers le commencement du flot, alors que la profondeur d'eau y devient suffisante; à l'entrée même du port, les brisants seraient du reste moins à craindre qu'ils ne le sont à Ymuiden, précisément à cause de l'existence des bancs situés devant la côte, et sur lesquels les lames perdent beaucoup de leur intensité. Par des tempêtes violentes, surtout par celles du N.O., l'accès du port présenterait sans doute de sérieux dangers, car la mer doit alors être fort mauvaise au-dessus de la dépression précitée, et les bâtiments qui auraient franchi cette dernière, s'ils venaient ensuite à manquer l'entrée du port, seraient presque certains d'être lancés à la côte, sans pouvoir tenter, avec quelque chance de succès, d'évoluer vers le large. Mais, dans ces cas, les navires devraient continuer leur route dans le Wielingen, pour aller se réfugier momentanément dans l'Escaut.

Il faudrait d'ailleurs avoir soin de signaler la dépression du Zand à l'aide d'un feu flottant et de bouées.



On remarquera toutefois, et c'est un point à faire ressortir, qu'il n'est pas possible, étant donné la configuration des fonds de l'atterrage de Heyst, de créer en cet endroit un port de refuge, accessible en tout état de la mer aux grands bâtiments de commerce. Cette qualité nautique ne saurait être réalisée, qu'en disposant le port de façon à reporter son entrée jusqu'au talus sud du canal du Wielingen. Mais, à part les grandes difficultés inhérentes à une solution de ce genre et la dépense énorme à laquelle elle donnerait lieu, il y a une considération d'un intérêt majeur qui s'oppose à l'exécution de pareils projets : c'est qu'ils pourraient compromettre la situation du Wielingen même, qui constitue la meilleure passe d'accès de l'Escaut.

Cette belle passe, on le sait, offre un brassiage d'au moins 9 mètres, et elle tend encore à s'améliorer sous l'action des courants de marée, à tel point que les bancs du Paardemarkt et de Cadzand, qui y formaient en 1825 des écueils dangereux, ont disparu aujourd'hui. Or, la construction d'un ouvrage s'avancant jusqu'au Wielingen, de quelque façon qu'il puisse être disposé et relié au rivage, occasionnerait toujours une perturbation dans le régime hydrographique de l'estuaire de l'Escaut; et, s'il n'est guère possible de prévoir quelle modification il en résulterait, en définitive, pour les conditions d'accès du fleuve, il n'en serait pas moins de la plus haute imprudence de s'exposer à détruire une situation excellente et qui se maintient par l'action des forces naturelles en jeu.

Disons en passant que des qualités nautiques, comme celles que l'on rencontre à l'entrée de l'Escaut, ne pourraient être obtenues, pour un port construit sur la côte, au moyen de jetées; car elles résultent, non seulement de la profondeur de la passe du Wielingen, mais aussi de sa largeur et de sa situation à une distance suffisante du rivage, qui font que les conditions de navigation s'y rapprochent assez de celles de la pleine mer <sup>(1)</sup>.

Après la question de l'accessibilité du port projeté par M. de Maere, vient celle relative à la navigabilité.

La commission de 1878 s'est prononcée contre la disposition de l'enceinte avec jetées parallèles à la côte. M. Michel, Inspecteur Général de la Marine, s'exprimait à ce sujet en ces termes : « Il ne faut pas perdre de vue que l'entrée du port serait directement exposée aux vents régnants de l'O.N.O. au N.E. et

<sup>(1)</sup> Il n'est pas sans intérêt de remarquer que la plupart des grands ports commerciaux du monde se trouvent, comme celui d'Anvers, sur des fleuves ou rivières, à des distances plus ou moins considérables à l'intérieur des terres. Londres est situé sur la Tamise, Liverpool sur la Mersey, New-Castle sur la Tyne, Glasgow sur la Clyde, Hambourg sur l'Elbe, Brême sur le Weser, Bordeaux sur la Garonne, Saint-Petersbourg sur la Néva. New-York, le port le plus important de l'Amérique, se trouve sur l'Hudson et Calcutta, le plus grand marché de l'Inde, sur le Gange.



que, par tous ces vents, surtout par ceux du N.O., il se produirait devant la tête des môles une houle très-forte; avec des jetées parallèles à la côte, comme celles proposées par M. de Maere, le ressac et les vagues de réflexion occasionneraient nécessairement, à l'entrée du port, des mers confuses, d'autant plus que les vents dominants de nos parages changent parfois subitement, et que souvent une tourmente de la région ouest se termine par une tempête du N.O. au N.N.O. Dans ces conditions, un navire n'écoute plus son gouvernail et est exposé aux plus grands dangers. Avec des têtes inclinées comme celles d'Ymuiden, l'inconvénient à résulter de l'action des vagues serait beaucoup moindre. »

M. Michel a fait ressortir ensuite que l'avant-port, dont l'axe conduit en ligne droite vers le canal maritime, et qui est formé de jetées ayant 800 mètres de longueur seulement, n'offrirait pas une étendue suffisante pour permettre aux grands bâtiments, qui attaqueraient le port par les gros temps ordinaires du N. et du N.O., de perdre leur aire et d'évoluer, ou de se diriger en sécurité vers les écluses d'entrée du canal. La commission partagea cette manière de voir et elle estima que l'enceinte comprise entre les môles aurait dû avoir une longueur d'environ 1600 mètres, mesurée perpendiculairement à la côte. Quant à la largeur de l'entrée, elle était d'avis que 200 mètres est une bonne dimension.

Examinons maintenant les questions concernant les effets à résulter de la marche des alluvions au point de vue du maintien du port. Elles consistent à savoir si les ensablements ne sont pas à craindre dans les angles extérieurs formés par les jetées avec la dune, ni devant la passe d'entrée, et s'il serait possible, dans des conditions pratiques, de maintenir la profondeur à l'intérieur de l'enceinte.

Pour ce qui est de l'ensablement dans les angles extérieurs, nous avons vu, au chapitre IV, que pareille éventualité n'est pas à redouter le long de la partie du littoral comprise entre Wenduïne et Heyst, du moins si les jetées ne dépassent pas le talus sous-marin raide qui précède la côte et qui se termine, devant Heyst, dans les fonds de 7<sup>m</sup>,00 à 7<sup>m</sup>,50 sous marée basse; il est inutile de revenir sur ces considérations.

Mais il n'est pas probable que la passe d'entrée serait affranchie de tout atterrissement. Le courant de flot, de même que le courant de jusant, en s'approchant du port, seraient déviés peu à peu de leur direction et produiraient respectivement, le long des môles ouest et est, des affouillements et des transports de sable; les eaux en mouvement, en quittant le musoir de chacun de ces ouvrages, iraient déposer une partie de ces matières devant l'entrée, dans l'espace triangulaire limité par deux lignes formant le prolongement des têtes inclinées



des jetées; avec des têtes courbes, ces lignes correspondraient aux tangentes menées à l'extrémité de celles-ci; une autre partie des sables soulevés par les courants seraient sans doute entraînés à l'intérieur de l'enceinte pour y former des dépôts près des musoirs.

Pareil phénomène, on le sait, se produit au port d'Ymuiden, où l'on exécute actuellement environ 80 000 mètres cubes de dragages par an pour maintenir la passe libre à l'entrée. Mais devant Heyst, le régime hydrographique de la côte est, sous ce rapport, beaucoup plus favorable, grâce surtout au peu d'étendue de la plage et des fonds de moins de 7<sup>m</sup>,00 qui la précèdent; et comme il n'est pas à prévoir que cette situation se modifie par suite de la construction des jetées, il n'est pas non plus à craindre que les dangers d'ensablement augmenteront dans l'avenir, comme c'est le cas pour Ymuiden. D'un autre côté, la vitesse du courant de flot devant ce dernier port est à peu près double de celle du courant de jusant, tandis qu'à Heyst les vitesses de ces deux courants, notablement supérieures d'abord à celle du flot devant Ymuiden, diffèrent assez peu entre elles. Il en résulte que les dépôts qui se formeraient près de la jetée est, par l'effet du courant de flot, seraient entamés chaque fois par le courant de jusant, de même que les dépôts amenés par le courant de jusant, près de la jetée ouest, seraient attaqués par le courant de flot; et si l'on terminait les môles du port par des têtes courbes convenablement disposées, de manière à réduire le plus possible l'angle mort existant devant l'entrée, il est probable que les atterrissements près des musoirs ne se produiraient que dans de bien faibles proportions.

Ajoutons que, par suite de la plus grande amplitude de la marée à Heyst, les courants d'émission, pour une même surface d'avant-port, auraient plus de vitesse qu'à Ymuiden; mais, ainsi que M. l'Inspecteur Général Lamal l'a fait remarquer au sein de la commission de 1878, ils seraient cependant encore trop peu intenses, comparés aux courants de marée qui circulent devant le port, pour exercer une influence sérieuse sur la situation de la passe d'entrée. D'après les calculs de M. Lamal, la vitesse maximum de ces courants ne dépasserait pas 0<sup>m</sup>,22 par seconde pour une enceinte de 150 hectares, alors que celle des courants de marée atteint en moyenne, devant Heyst, 1<sup>m</sup>,03 par seconde à une heure avant la marée haute, et 0<sup>m</sup>,72 au moment où commencerait le remplissage du port.

La commission de 1878, après des discussions très-complètes, a résolu la question de l'ensablement dans le sens qui vient d'être indiqué. La majorité de ses membres était d'avis que l'ensablement dans les angles extérieurs n'était pas du tout à redouter, pas même dans un avenir éloigné; les autres membres,



moins absolus dans leur manière de voir à ce sujet, admettaient que l'ensablement que l'on peut avoir à craindre serait fort lent et ne constituerait pas un danger sérieux pour le maintien du port.

Ces deux opinions ont été comprises dans une seule conclusion, formulée comme suit :

« Les ensablements qui pourront se produire dans les angles extérieurs, formés par les jetées du port avec la dune, ne doivent pas être considérés comme un obstacle à l'adoption du projet. »

En ce qui concerne l'ensablement devant l'entrée, la commission a conclu en ces termes :

« Les dépôts de sable qui se produiront près de la passe d'entrée, dans les angles morts à l'extérieur du port, et près de l'extrémité des jetées à l'intérieur, ne paraissent pas devoir être assez importants, avec une forme courbe de jetée convenablement étudiée, pour qu'on ne puisse pas, dans des conditions pratiques et sans de trop grandes dépenses, les combattre par le dragage. »

Reste la question de l'envasement intérieur.

En citant l'exemple de quelques ports en eau profonde, construits ou projetés en France, en Angleterre et en Hollande, nous avons vu que c'est là un point capital pour des projets de ce genre, mais qui ne doit cependant pas être considéré comme un obstacle quand, à la suite d'un examen attentif du régime de la côte au droit de l'emplacement du port projeté, on peut prévoir avec quelque certitude que les apports annuels à combattre ne seront pas trop considérables, pour qu'il soit pratiquement possible de les enlever au moyen de dragages.

Tel ne serait certainement pas le cas pour le port de Heyst, ni pour aucun port du reste que l'on voudrait construire, d'après ce système, en un endroit quelconque de la côte de Belgique.

Entrons à ce sujet dans quelques développements.

On sait que les fonds sous-marins qui précèdent notre littoral ont une profondeur relativement faible et sont formés, sur de vastes étendues, par de l'argile, de la vase et du sable vasard. Ces matières sont constamment mises en suspension par les courants, qui les transportent en quantités plus ou moins grandes suivant le degré de saturation des eaux. Celui-ci dépend évidemment de la vitesse des courants, mais il croît surtout avec l'agitation de la mer.

Une série d'observations auxquelles nous avons procédé devant Heyst, sous la direction de M. l'Ingénieur en Chef Piens, et avec le concours de M. Baey,



Conducteur des Ponts et Chaussées, ont donné les résultats suivants : (1)

« La quantité des matières en suspension varie beaucoup avec l'état de la mer; elle est beaucoup plus grande près du fond qu'à la surface.

« Par une mer calme ou peu agitée, la quantité moyenne de matières recueillies est de  $\frac{9}{10}$  de centimètre cube pour un litre d'eau prise à la surface, et de  $2\frac{8}{10}$  centimètres cubes pour un litre d'eau recueillie à 1 mètre au moins du fond. La moyenne de ces deux chiffres est de 1.85 centimètre cube.

« La quantité de matières en suspension aux étales n'est souvent que la moitié de celle en suspension pendant les plus grandes vitesses des courants.

« Par une mer houleuse, les quantités de matières en suspension, près du fond surtout, sont considérables et donnent lieu à des dépôts dix à quinze fois plus grands que ceux obtenus en temps calme. »

Le fort degré de saturation des eaux, produit par les coups de vents, se constate rien qu'à la couleur exceptionnellement trouble que la mer présente dans ces circonstances; on voit alors les vases se transporter par couches très-étendues, de nuance différente et entraînant avec elles de fortes proportions de sable fin.

Il m'est arrivé, disait M. Michel, Inspecteur Général de la Marine, dans une des séances de la commission de 1878, qu'en naviguant dans la passe du Wielingen par une tempête du N.O., d'y trouver l'eau si chargée qu'elle ressemblait à de la boue; les lames, en déferlant sur le pont du navire, y avaient déposé tellement de vase, qu'arrivé dans l'Escaut, il fallait procéder à un lavage général.

Après plusieurs jours de temps calme, on remarque d'ailleurs que les vases se déposent même sur la plage, devant Knocke et Heyst, là où il n'existe pas d'épis de défense et où le jeu de la marée creuse des sillons plus ou moins profonds à travers les sables de l'estran. Au-dessus de ces sillons, les lames en retour, lorsque la mer n'est pas agitée, sont trop faibles pour empêcher le dépôt des vases en suspension, et il n'est pas rare d'y constater l'existence de couches très-étendues, ayant de 0<sup>m</sup>,10 à 0<sup>m</sup>,12 d'épaisseur; celles-ci disparaissent à la première tempête, pour reparaître ensuite à nouveau. Le même fait peut s'observer sur la plage de Blankenberghe, dans les affouillements que le déferlement des eaux produit fréquemment le long du corps des épis de défense de la côte, et le long des jetées qui bordent, à Heyst, les chenaux des écluses d'évacuation des

(1) Rapport et documents de la commission de 1878. Rapport de M. l'Ingénieur en Chef Piens sur les matières que l'eau de mer tient en suspension le long du littoral belge.



canaux de Selzaete et de Schipdonck; près de ces derniers ouvrages, nous avons constaté des dépôts de plus de 0<sup>m</sup>,15 d'épaisseur.

Aux yeux des pêcheurs, la présence de couches de vase sur l'estran est un indice qui annonce l'approche de vents violents, prévision qui, en général, se justifie, précisément parce que les temps calmes prolongés sont rares dans nos contrées.

Afin de donner une idée plus ou moins exacte de la composition des matières en suspension dans l'eau de la mer devant Heyst, M. l'Ingénieur en Chef Piens envoya, en juin 1881, à M. Swarts, professeur de chimie à l'université de Gand, pour être analysés, quatre échantillons d'eau de mer et un échantillon de vase desséchée. Les échantillons d'eau de mer étaient contenus dans des tonnelets d'environ 15 litres de capacité; ils avaient été recueillis par une légère brise du N.O. et mer calme, les deux premiers à la surface, les deux autres à un mètre du fond.

Les quantités de sable fin et d'argile qu'ils contenaient, sont renseignées dans le tableau ci-dessous : (1)

N <sup>os</sup> DES TONNELETS.	CAPACITÉ des TONNELETS.	POIDS DES DÉPÔTS					
		PAR TONNELET.			PAR MÈTRE CUBE.		
		SABLE	ARGILE	TOTAL	SABLE	ARGILE	TOTAL
1. Recueilli à la surface à marée haute	16 litres	0,175	2,085	2,260	10,9	130,3	141,2
2. " " à marée basse	15,5 "	0,471	1,696	2,167	30,4	109,4	139,8
3. " à 1 m. du fond à marée haute	15 "	1,642	2,792	4,434	109,4	186,1	295,5
4. " " à marée basse	14,5 "	1,521	3,312	4,833	106,2	298,0	404,2

L'échantillon de vase desséchée provenait du mélange des dépôts de divers tonnelets, recueillis à des jours différents, et pesait 2 gr. 520.

Après lévigation dans l'eau de mer, M. Swarts l'a dédoublé en

0,243 gr. de sable et

1,303 gr. d'argile

total 1,546 grammes;

ce qui accuse une perte d'environ un gramme, provenant de ce que l'échantillon

(1) « La détermination de la teneur de l'eau de mer en sable et en argile, dit M. Swarts dans son rapport, a été faite par la méthode dite de lévigation. L'entraînement a été effectué au moyen de l'eau de mer elle-même. On sait en effet, par les expériences de Schlösing, que l'argile se dépose différemment suivant qu'on opère au sein de l'eau pure, ou au sein d'une solution contenant des sels de magnésium, comme c'est le cas pour l'eau de mer.

« Les sables ont été recueillis sur des filtres, lavés, à l'eau distillée, séchés à 110° et pesés. Les



n'était pas sec et qu'il était imprégné d'une quantité considérable de matières salines, que le lavage à l'eau distillée a enlevées.

Le sable et l'argile s'y trouvaient donc, en poids, dans le rapport de 1 à 5.36, et comme leurs densités respectives, telles qu'elles furent déterminées par M. Swarts, sont de 1.98 et de 1.35, la composition, en volume, était de 0<sup>cc</sup>,123 pour le sable et de 0<sup>cc</sup>,965 pour l'argile; soit 1 volume de sable pour 7,85 volumes d'argile. Mais on comprend que la proportion de sable et d'argile des matières en suspension, doit varier constamment avec l'état de la mer, et que la quantité de sable est beaucoup plus grande — le tableau mentionné plus haut le montre du reste — pour les couches qui circulent près du fond que pour les couches supérieures.

M. Swarts fait remarquer, dans son rapport, qu'en déterminant la densité de l'argile, il a opéré sur les dépôts des échantillons après leur dessiccation à 110°, et il croit que cette densité doit être beaucoup plus faible, lorsqu'il s'agit d'une argile non desséchée, de sorte qu'elle se rapprocherait de la densité de l'eau même. On pourrait en conclure qu'à l'intérieur des espaces abrités, soustraits à l'action des courants de marée et où l'agitation de la mer ne se fait que faiblement sentir, les vases tenues en suspension dans les eaux ne doivent se précipiter que fort difficilement; mais il n'en est pas ainsi, d'abord, parce que ces vases contiennent du sable, et ensuite, parce que la salure des eaux favorise considérablement leur dépôt sur le fond (').

C'est ainsi que les anciennes criques, existant autrefois en divers endroits de la côte des Flandres, le Zwyn notamment, se sont envasées rapidement, à mesure que les endiguements avaient fait disparaître les parties basses qui les bordaient en amont et qui remplissaient, à marée descendante, l'office de vastes réservoirs de chasse. C'est encore ainsi que se produisent les envasements excessivement abondants que l'on constate aux ports d'Ostende et de Blankenberghe, dans les bassins d'échouage en libre communication avec la mer, et où il n'existe aucun moyen naturel ou artificiel pour empêcher l'accumulation des apports.

dépôts argileux, au contraire, ont été lavés par décantation, et, quand les eaux de lavage étaient pures, ils ont été transvasés dans des capsules, lavés, évaporés et desséchés à 110°, suivant la méthode recommandée par Frisénius. »

(<sup>1</sup>) M. l'Ingénieur en Chef Fargue, dans son *Étude sur la largeur du lit moyen de la Garonne*, annales des Ponts et Chaussées de France, année 1882, cite une expérience bien simple pour s'assurer de ce fait. Elle consiste à verser le même poids de la même vase naturelle et préalablement desséchée, dans deux récipients de verre blanc, d'égale capacité, contenant l'un de l'eau pure, l'autre de l'eau de mer, et d'agiter le liquide. Les deux eaux deviennent troubles; mais on remarque bientôt que la vase se précipite beaucoup plus rapidement dans l'eau salée que dans l'eau pure. Après un repos absolu de six heures, la première est complètement clarifiée et la vase est déposée au fond en couche nettement limitée. Les mêmes résultats ne sont obtenus, dans la seconde, qu'après dix-huit heures environ.



Un fait important à noter, c'est que dans les bassins de ce genre, comme dans les enceintes abritées en général, l'importance des dépôts croît très-rapidement avec la profondeur à laquelle ces bassins sont creusés. Ceci provient surtout de ce que la précipitation des matières en suspension est d'autant plus active que la nappe d'eau a plus d'épaisseur et présente, par conséquent, un calme relatif plus prononcé dans ses couches inférieures; ensuite, la profondeur de l'eau diminue l'action érosive de la vague sur le fond et atténue en outre l'influence des courants d'émission sur celui-ci.

On a constaté qu'à Ostende, l'envasement du bassin d'échouage est annuellement de 0<sup>m</sup>,60, lorsque le fond se trouve creusé approximativement au niveau des basses mers. Pendant l'année 1880, alors que ce bassin découvrait à marée basse et n'offrait que 3<sup>m</sup>,50 d'eau, en moyenne, à marée haute, l'épaisseur des dépôts était encore de 0<sup>m</sup>,39.

Dans le bassin d'échouage du port de Blankenberghe, il s'est produit 0<sup>m</sup>,97 de dépôts la première année qui a suivi son recreusement à 1<sup>m</sup>,00 de profondeur sous marée basse. Mais on doit avoir égard à cette circonstance, que le courant des chasses, lancées dans le chenal du port, n'étant pas soutenu par un écoulement d'eau de l'amont, reflue en partie vers le bassin et peut y favoriser l'accumulation des vases. C'est ce que la commission de 1878 a fait remarquer, en ajoutant toutefois que l'influence de ce refoulement partiel ne saurait être très-sensible, parce que les chasses, dont la durée n'est que d'une demi-heure à peine, ne s'effectuent que 7 à 8 fois par quinzaine et qu'elles sont en outre souvent interrompues à cause de l'évacuation des eaux du canal de Blankenberghe. Elle a estimé que, pour faire la part de l'effet nuisible produit par les chasses sur le maintien de la profondeur du bassin d'échouage, on pourrait réduire à 0<sup>m</sup>,80, l'épaisseur d'envasement annuel de 0<sup>m</sup>,97, qui y a été mesurée.

Les observations sur l'envasement du port de Saint-Nazaire font mieux voir encore combien la profondeur de l'eau influe sur l'importance des dépôts.

A ce port, les eaux sont toujours fort troubles et contiennent une grande quantité de matières vaseuses extrêmement fines. La densité de ces vases, lorsqu'elles sont fraîchement apportées, est de 1175. Elles se tassent lentement sous eau, de manière à diminuer, en volume, d'un quart au bout de 3 à 4 mois, et de la moitié au bout de 7 à 8 mois; elles ont alors respectivement 1222 et 1323 de densité; après 18 mois, leur volume se réduit dans le rapport de 2.71 à 1, et leur densité atteint alors 1430, soit celle des vasières du rivage. Or, on a constaté que, pour des profondeurs du chenal du port, portées successivement de 1<sup>m</sup>,70 à 2<sup>m</sup>,20, 2<sup>m</sup>,70 et 3<sup>m</sup>,20, sous la basse mer de vive eau



d'équinoxe, l'épaisseur des apports journaliers croissait de 0<sup>m</sup>,0146 à 0<sup>m</sup>,0225, 0<sup>m</sup>,0321 et 0<sup>m</sup>,0467 <sup>(1)</sup>.

Quelle est l'épaisseur probable de l'envasement qui se produirait annuellement à l'intérieur du port projeté par M. de Maere à Heyst, et dont la profondeur est fixée à 7<sup>m</sup>,00 sous le niveau de marée basse?

C'est là une question sans doute fort difficile, et qui ne comporte pas de solution précise ni exacte; mais on peut cependant établir, à ce sujet, des prévisions d'une approximation suffisante pour juger s'il serait pratiquement possible ou non de maintenir pareille enceinte à profondeur.

Le moyen le plus simple et qui vient tout naturellement à l'esprit, consiste à comparer le port projeté avec ceux existant sur la même côte, Ostende et Blankenberghe, en tenant compte des éléments qui doivent, dans les deux cas, influencer différemment sur la formation plus ou moins rapide des dépôts. Parmi ces éléments, la profondeur qu'il s'agit de réaliser dans le port, par rapport au niveau des hautes mers, est certainement le principal.

A Ostende, nous venons de le dire, l'envasement du bassin de pêche est de 0<sup>m</sup>,60 par an, lorsque le plafond est maintenu à peu près au niveau des basses mers, soit à 4<sup>m</sup>,50 au-dessous de celui des hautes mers; il est de 0<sup>m</sup>,39, quand le plafond découvre et ne se trouve plus qu'à 3<sup>m</sup>,50, en moyenne, sous ce dernier niveau. Dans le bassin d'échouage de Blankenberghe, après qu'il avait été creusé à 1 mètre sous le niveau de basse mer, l'envasement a été de plus de 0<sup>m</sup>,80 en un an. D'après ces chiffres, l'épaisseur des dépôts, dans les bassins dont il s'agit, augmente de 0<sup>m</sup>,20 environ, lorsque la profondeur d'eau, dans les limites précitées, s'accroît de 1 mètre. Or, il nous semble hors de doute que les résultats seraient proportionnellement plus défavorables encore si l'on descendait le plafond jusqu'à 7 mètres sous le niveau de marée basse. L'exemple de Saint-Nazaire confirme cette manière de voir; car, sans vouloir comparer la situation de ce port à celle de Heyst, il montre cependant combien l'accroissement de profondeur active la précipitation des vases fines.

L'on arrive ainsi à cette conclusion, que l'envasement annuel d'un bassin, comme celui de Blankenberghe ou d'Ostende, mais dont le plafond serait creusé à la profondeur précitée de 7<sup>m</sup>,00 sous marée basse, atteindrait une épaisseur de plus de 2 mètres.

Le second élément du problème consiste dans le calme relatif des eaux, circonstance qui favorise la précipitation des matières en suspension. Ce dernier

<sup>(1)</sup> Leferme. *Annales des Ponts et Chaussées de France*, année 1869.



est évidemment plus grand pour des bassins qui communiquent avec le large au moyen d'un chenal s'arrêtant à la laisse des basses mers, qu'il ne le serait au port de Heyst, lequel est projeté en avant de la ligne des dunes et déboucherait directement dans les grands fonds.

Mais il est à remarquer tout d'abord, que le degré d'agitation que l'on peut vouloir conserver à l'intérieur des ports de ce genre, est nécessairement limité, puisque la largeur de l'entrée et la hauteur des môles doivent être réglées de façon à obtenir dans l'enceinte, pendant les vents de tempête, assez de calme pour ne pas compromettre la sécurité des navires qui s'y trouvent. Ensuite, s'il est vrai qu'à Ostende et à Blankenberghe, la situation des bassins d'échouage en arrière des dunes facilite le dépôt des vases qui y sont entraînées, il existe une autre circonstance qui doit, en revanche, atténuer sérieusement la rapidité de l'envasement de ces bassins : c'est que les eaux, avant d'y arriver, remontent le chenal et y déposent, à chaque marée, les parties les plus denses des vases qu'elles contiennent ; ces dépôts sont ensuite refoulés en mer par l'action des chasses. Le port de Heyst, au contraire, recevrait directement les eaux de remplissage de la marée, de sorte que la quantité de matières entraînées vers l'intérieur, surtout celle tenue en suspension dans la couche d'eau qui court sur le fond, serait bien plus grande <sup>(1)</sup>. Ce fait, dont les résultats seraient surtout sensibles par des mers houleuses, est certainement de nature, sinon à détruire, du moins à diminuer, dans de fortes proportions, l'avantage à provenir du plus grand degré d'agitation qui règnerait dans le port projeté. Aussi croyons-nous être sûr de rester au-dessous de la réalité en évaluant l'épaisseur probable des dépôts qui s'y formeraient, à un minimum de 1<sup>m</sup>,25 à 1<sup>m</sup>,50 par an.

Pour prouver que cette évaluation n'a rien d'exagéré, on ne saurait invoquer de meilleur exemple que celui du port d'Ymuiden, situé sur une côte d'alluvion, comme la nôtre, et qui offre avec celle-ci plusieurs points de ressemblance. A ce port, les apports de vase occasionnent en effet environ 0<sup>m</sup>,80 de dépôt par an, et cependant le régime de la côte, envisagé sous le rapport des dangers d'envasement, y est en tous points meilleur qu'à Heyst.

Ainsi, on ne rencontre pas, devant Ymuiden, ces fonds abondants de vase, se maintenant à des profondeurs relativement faibles et que la lame remue profondément dès la moindre grosse mer ; le talus sous-marin, dans le voisinage du port, offre partout une inclinaison régulière et se raccorde à une distance d'environ 3 1/2 kilomètres avec les fonds de 15 mètres et plus qui s'étendent vers le large.

<sup>(1)</sup> Rapport de la commission de 1878, page 90.



Aussi les eaux, dans ces parages, présentent-elles un degré de limpidité qu'on n'observe jamais sur notre côte, pas même par les temps les plus calmes. Il est à remarquer ensuite qu'à Ymuiden, la vitesse des courants est notablement plus faible qu'à Heyst, et que l'amplitude de la marée y est plus que moitié moindre; or, il est évident que le degré de saturation des eaux qui circulent le long des côtes, diminue avec la vitesse des courants auxquels elles sont soumises, et que la quantité de matières entraînées à l'intérieur des enceintes abritées varie en raison directe du volume de remplissage, lequel est déterminé, en chaque port, par l'amplitude de la marée.

Ajoutons enfin que l'avant-port de Heyst, placé tout près de l'embouchure de l'Escaut, serait exposé à recevoir les alluvions amenées par ce fleuve, puisque le remplissage de l'enceinte aurait lieu pendant la seconde période du courant de jusant, l'étalement de ce courant et la première période du flot; toutefois les quantités de vase provenant à chaque marée de la partie amont d'un fleuve comme l'Escaut, sont peu considérables, comparées à celles qui sont apportées par la mer, et, après qu'elles se sont dissoutes en quelque sorte dans la masse des eaux marines, elles ne sauraient, à elles seules et *directement*, occasionner de grands dépôts dans le port projeté <sup>(1)</sup>.

Si l'on a égard à l'ensemble des particularités qui distinguent le régime de la côte d'Ymuiden de celui de la côte de Heyst, et sur lesquels M. l'Inspecteur Général Lamal et M. l'Ingénieur en Chef Troost ont insisté spécialement au cours des discussions de la commission de 1878, on doit reconnaître que l'envasement du port projeté serait beaucoup plus rapide qu'il ne l'est à Ymuiden, ce qui confirme bien la conclusion déduite plus haut des faits observés à Ostende et à Blankenberghe.

Il n'est pas possible de résoudre le problème de l'envasement probable du port de Heyst à l'aide des chiffres cités précédemment et relatifs aux quantités de matières que l'eau de mer tient en suspension; il faudrait, à cet effet, pouvoir tenir compte de l'état toujours variable de la mer, ainsi que du degré de calme relatif qui s'établirait chaque fois à l'intérieur de l'enceinte, et à la faveur duquel s'opère la précipitation des matières entraînées; or, ce sont là des éléments que l'on ne saurait déterminer. On devrait donc les remplacer par des hypothèses plus ou moins approximatives, et les calculs que l'on peut faire dans ces conditions ne donnent par conséquent que des résultats très-discutables.

Disons cependant, qu'en admettent que le tiers seulement de la vase entraînée

<sup>(1)</sup> Voir page 73.



moyennement par les eaux se déposerait dans l'enceinte, — et cette supposition n'est pas exagérée, puisque l'on constate qu'en pleine mer le volume des matières en suspension se réduit souvent de la moitié aux étales, — et en déterminant aussi bien que possible, d'après les observations de vent des quatre dernières années, le nombre de jours pendant lesquels la mer est respectivement calme et houleuse, tout en négligeant l'influence des fortes tempêtes, on trouve pour l'apport annuel un chiffre notablement supérieur à celui auquel nous sommes arrivé plus haut.

La commission de 1878 estima finalement l'importance de l'envasement à prévoir au port de Heyst, en établissant successivement une proportion entre la profondeur des ports existants, Blankenberghe, Ostende et Ymuiden, — celle-ci étant mesurée à marée haute, — l'épaisseur annuelle des dépôts qui y ont été constatés et la profondeur du port à construire; elle prit la moyenne entre ces résultats et obtint ainsi le chiffre de 1<sup>m</sup>,32 <sup>(1)</sup>.

On voit par ce qui précède qu'il serait pratiquement impossible de maintenir à profondeur un avant-port construit sur la côte de Heyst dans le système de celui d'Ymuiden; déjà à ce port, où l'envasement annuel n'est que de 0<sup>m</sup>,80, on a dû abandonner la surface elliptique projetée à l'intérieur de l'enceinte, pour n'entretenir dans celle-ci qu'une simple passe centrale de 250 mètres de largeur, correspondant au canal extérieur qui précède l'écluse d'entrée du canal maritime.

A Heyst, la situation ne se prêterait pas même à suivre cette marche. Car, en y admettant, pour la longueur de la passe centrale du port, une longueur de 1600 mètres, dimension qui ne serait pas trop grande au point de vue nautique, on aurait à entretenir à la profondeur de 7<sup>m</sup>,00 sous le niveau de marée basse, une superficie de 40 hectares; le cube de dragage à exécuter annuellement à cet effet, s'élèverait à plus de 525 000 mètres, mesurés en profil, soit à 950 000 mètres environ, mesurés dans les chalands <sup>(2)</sup>, et cette quantité devrait encore être majorée, à cause des dépôts qui se formeraient dans les segments latéraux et qui finiraient par affluer vers le chenal du milieu. La dépense à résulter des dragages d'entretien de ce dernier, seraient donc considérables, d'autant plus que les déblais qui reviennent à Ymuiden à 1,06 fr. le mètre cube, mesurés dans les bateaux et transportés à 4000 mètres en mer, coûteraient, sans aucun doute, davantage à Heyst.

(1) Les conclusions de la commission de 1878, relatives aux envasements à prévoir au port projeté de Heyst, sont mentionnées à la fin de l'ouvrage, annexe III, dans laquelle nous parlons en même temps du rapport de la commission internationale qui fut instituée en 1884 par l'administration communale de Bruges, à l'effet d'étudier la même question.

(2) On a constaté à Ymuiden qu'il faut majorer le volume des dragages mesurés en profil, dans le rapport de 225 à 400 pour avoir celui donné par le cubage des chalands.



La configuration des fonds situés devant la côte n'y permet pas, en effet, de déverser les matières draguées à une distance de moins de 16 kilomètres au large, circonstance que M. l'Inspecteur Général Michel signala, dans la commission de 1878, en ces termes : « On ne peut pas décharger les déblais en deça du Wielingen, car ils y produiraient un exhaussement du fond qui menacerait l'accès du port même. C'est ainsi qu'à Ymuiden, on déversait au début les vases à une distance de 3000 mètres du port, croyant que les courants les auraient débarrassées et entraînées dans la masse des eaux de la mer; mais on a constaté bien vite que ces dépôts s'y tassaient peu à peu, et y formaient une espèce de banc, qui aurait fini par entraver la navigation. On peut encore moins songer à transporter les déblais dans le Wielingen, qui constitue la passe principale de l'entrée de l'Escaut et qui conduit au port d'Anvers, ni en aucun autre point situé dans le voisinage de cette belle passe. Le gouvernement néerlandais s'y opposerait d'ailleurs, car lui aussi a intérêt à sauvegarder la sécurité de la navigation à l'embouchure du fleuve. Il faudrait donc aller jusqu'aux fonds de 15 mètres et plus, qui s'étendent au nord du banc de Lisseweghe et qui limitent au sud le Westpit, soit à une distance de 9 milles au large. »

Cette condition onéreuse du transport des déblais, reconnue nécessaire par la commission de 1878, peut paraître d'une prudence excessive; il n'en est cependant pas ainsi.

Le déversement, d'une façon permanente, des dépôts enlevés du port, en des endroits trop rapprochés du Wielingen, offrirait certainement de sérieux dangers pour le maintien de cette passe; car les vases qui sont ténues et se maintiennent facilement en suspension dans les eaux, lorsqu'elles viennent d'être soulevées et entraînées par les vagues et les courants, renferment aussi du sable et se tassent assez vite, après s'être précipitées sur le fond dans une enceinte abritée, pour y acquérir dès lors plus de densité et de cohésion. On comprend qu'il ne serait pas non plus à conseiller de déverser les matières draguées dans le voisinage du port même, puisque les fonds y ont à peine la profondeur voulue, et qu'ils forment, entre le rivage et le Binnen-Paardemarkt, un sillon étroit, dont la section devient plus rétrécie encore à son extrémité est.

En somme, l'entretien d'une passe centrale, à l'intérieur de l'enceinte projetée, exigerait encore des frais de dragage excessivement coûteux, et les bateaux-dragueurs qui devraient fonctionner en permanence dans cette passe, y constitueraient en outre une gêne pour la navigation.

Nous ne voyons pas du reste quels avantages l'avant-port, maintenu dans



ces conditions, présenterait, en définitive, sur un chenal ordinaire, compris entre des jetées à claire-voie, avec jetées basses. Le seul, croyons-nous, c'est que les segments latéraux de l'enceinte, en favorisant le développement des lames, donneraient une eau plus calme dans la passe navigable.

D'après Stephenson, la réduction de la hauteur des vagues qui se propagent dans un port, est donnée par la formule empirique suivante :

$$\frac{h}{H} = \sqrt{\frac{l}{L}} - 0.027 \left( 1 + \sqrt{\frac{l}{L}} \right)^4 \sqrt{d}.$$

dans laquelle  $H$  représente la hauteur des vagues à l'extérieur,  $h$  la hauteur des vagues à l'intérieur à une distance  $d$  de l'entrée du port,  $l$  la largeur de celle-ci et  $L$  la largeur du port à la distance  $d$  de l'entrée; les dimensions sont comptées en mètres.

Mais cette formule, qui ne renferme aucun facteur relatif à l'influence exercée par la direction du vent et la profondeur de l'enceinte, ne s'est pas justifiée à Ymuiden. En l'appliquant, on trouve que la hauteur des vagues à l'intérieur du port devrait être réduite au  $\frac{1}{3}$  de leur hauteur primitive, à une distance de 600 mètres de l'entrée et au  $\frac{1}{4}$  environ à une distance de 1100 mètres, soit à la tête des jetées basses qui précèdent le canal intérieur; or, la houle, par les gros temps du S.O. au N.O., atteint une levée de 0<sup>m</sup>,80 près des écluses d'entrée du canal maritime, lesquelles sont situées à 2500 mètres de la tête des jetées.

D'un autre côté, l'effet à résulter de l'épanouissement des lames dans les segments latéraux d'un avant-port, formé de môles insubmersibles, outre qu'il ne diminue pas l'agitation à l'entrée, qui est la plus à craindre, peut être réalisée en grande partie dans un chenal avec jetées à claire-voie, en donnant au talus intérieur des jetées basses une inclinaison très-faible, et en établissant le long de ces ouvrages des brise-lames, convenablement disposés.

Nous devons dire ici que les considérations développées ci-dessus, pour montrer qu'il n'est pas à conseiller d'établir à Heyst un avant-port ou enceinte avec môles pleins, et où il ne serait creusé qu'une passe centrale, ne sont pas applicables à Ymuiden. Ce port se trouve, sous ce rapport, dans une situation fort différente. D'abord, les dévasements qu'on doit y exécuter annuellement, sont beaucoup moins importants qu'ils ne le seraient à Heyst, en même temps que le transport en mer des matières draguées s'y effectue dans des conditions relativement économiques. Ensuite, le régime de cet atterrage ne nous semble pas de nature à permettre l'établissement d'un avant-port conçu dans un système meilleur pour éviter les apports intérieurs; l'estran sous-marin, devant Ymuiden, étant peu incliné, on doit chercher la profondeur nécessaire à une grande distance de la



côte; de plus, la dénivellation de la marée y est trop faible pour pouvoir organiser des chasses puissantes; et il faudrait exécuter des déblais énormes pour creuser des bassins de retenue dans les dunes élevées qui bordent le rivage.

Une autre considération, d'un ordre d'idées différent, c'est que le port d'Ymuiden et le nouveau canal d'Amsterdam ont été construits pour améliorer l'accès à la mer d'une ville commerciale importante, formant le centre d'un marché établi, et que les sacrifices d'argent à faire pour l'entretien de ces travaux y sont compensés par les avantages qu'ils procurent au commerce.

Sans vouloir discuter l'opportunité qu'il peut y avoir à construire, à Heyst, un nouveau port, relié à la ville de Bruges par un canal maritime, ni l'influence que la réalisation de pareil projet exercerait sur le développement commercial de notre pays, nous pensons que, lorsqu'il s'agit d'un port nouveau à créer, une des principales préoccupations doit consister à pouvoir le maintenir à profondeur, sans qu'il soit nécessaire d'y consacrer annuellement des sommes trop considérables. Sans cela, il est fort à craindre que, dans les premières années de sa construction et avant que le commerce ait pu en apprécier les avantages, ce qui dure souvent plus longtemps qu'on n'est généralement porté à le croire, la législature, effrayée par la dépense, ne soit plus disposée à allouer les crédits nécessaires; et, si cette éventualité devait se présenter, le port serait condamné à s'envaser rapidement et à perdre, avec sa réputation à l'étranger, toute chance de réussite dans un avenir plus éloigné.

Résumons brièvement les conclusions développées plus haut, concernant les diverses questions que soulève le projet de M. de Maere.

L'enceinte projetée, contrairement au but de l'auteur, ne saurait constituer un port de refuge, ni un port en eau profonde, accessible en tout temps et à toute heure de la marée aux navires du plus fort tonnage, puisque la fosse de Heyst est séparée du large par le plateau Het Zand où l'on ne sonde, à mer basse, que 6<sup>m</sup>,20 d'eau au-dessus de la partie la plus profonde, et que les fonds, qui conduisent à l'intérieur de ce plateau vers l'emplacement du port projeté, n'ont guère plus de 7<sup>m</sup>,00.

D'autre part, le régime hydrographique de cet atterrage est caractérisé par des transports de vase excessivement abondants, d'où il résulte que pareil avant-port exigerait des dragages tellement considérables que son maintien serait pratiquement impossible.

Enfin, les difficultés à résulter de l'envasement et les dépenses à faire annuellement pour le combattre, seraient encore très-grandes si, pour conserver le système d'avant-port proposé, on voulait se borner à n'y entretenir qu'une passe centrale,



et celle-ci n'offrirait d'ailleurs aucune qualité nautique particulière en compensation.

Mais si la côte de Heyst ne se prête pas à l'établissement d'un port de refuge, elle offre cependant, grâce au voisinage du canal du Wielingen, des conditions d'accessibilité suffisamment bonnes pour y construire un port de premier ordre; les plus grands navires de commerce pourraient, en effet, se rendre du Wielingen dans la fosse de Heyst pendant 4 à 5 heures en moyenne à chaque marée; et, en cas de tempête violente, alors que la traversée du Zand serait trop dangereuse, ils auraient la faculté de se réfugier momentanément dans l'Escaut.

Une circonstance fort avantageuse pour la réalisation de ce projet, consiste dans le régime exceptionnellement favorable que la plage et l'estran sous-marin de Heyst présentent sous le rapport des ensablements, lesquels, comme on sait, n'y sont guère à craindre. Il faut, en revanche, dans l'étude des dispositions à admettre pour le nouveau port, se préoccuper spécialement de l'envasement intérieur. Celui-ci exclut le système d'enceinte avec môles insubmersibles, et il ne saurait, d'après nous, être combattu dans de meilleures conditions qu'en adoptant, comme passe d'accès, un chenal limité par deux jetées à claire-voie avec jetées basses, et entretenu à l'aide de puissantes chasses à l'eau de mer.

Pour fixer les idées, nous donnons, pl. XXIX, les indications d'un projet de ce genre.

Le port comprendrait, on le voit, les parties constitutives ordinaires de nos ports à marée, mais ses conditions de navigabilité se rapprocheraient de celles des ports en eau profonde, à cause de la plus grande largeur donnée au chenal et de la profondeur d'eau que l'on y maintiendrait. Il serait placé à 1200 mètres dans l'ouest de l'écluse du canal de dérivation de la Lys, soit à peu près à l'endroit choisi par M. de Maere.

Le chenal, orienté sensiblement au N.O.  $\frac{1}{4}$  N., offrirait 150 mètres de largeur et déboucherait dans les fonds de 6<sup>m</sup>,25 à 6<sup>m</sup>,50 sous marée basse, lesquels se trouvent, en cet endroit, à 650 mètres environ du pied de la dune. Cette profondeur correspond à celle existant au-dessus de la dépression du plateau Het Zand, et permettrait par conséquent aux navires de 7<sup>m</sup>,00 de tirant d'eau d'entrer dans le port, même par une mer houleuse, durant 4 à 5 heures à chaque marée. Le chenal serait compris entre deux jetées, composées de fermes en charpente et bordées inférieurement de jetées basses, construites en pierres d'enrochement. La crête de ces derniers ouvrages suivrait, dans l'étendue de la plage qui découvre, l'inclinaison de celle-ci, en se tenant partout à 1 mètre environ au-dessus de cette surface; plus loin, elle se trouverait uniformément à 0<sup>m</sup>,75 environ au-dessus du niveau moyen des basses mers.



L'extrémité de la jetée de l'ouest s'infléchirait davantage vers cette région, afin de faciliter le mouvement des navires à l'entrée. A l'intérieur des jetées, le chenal serait creusé à une profondeur d'environ 6 mètres.

Mais on doit se demander tout d'abord si un chenal de cette largeur ne présenterait pas d'inconvénients au point de vue nautique, soit par l'effet des courants, soit par celui des vagues.

Nous ne le croyons pas. Les courants de flot qui, au moment de leur plus grande force, soit vers l'instant de la pleine mer, se propagent suivant une direction transversale par rapport à celle des jetées projetées, ne sauraient se faire sentir, à l'intérieur de celles-ci, au point d'y causer des embarras pour la navigation, pourvu que les fermes composant ces ouvrages, soient assez rapprochées. L'exemple des ports existants, et notamment celui de Calais, où la vitesse maximum du courant de flot, dans les marées moyennes de vive eau, est de 2<sup>m</sup>,15 par seconde, et bien supérieure à celle observée devant Heyst, doivent nous rassurer à cet égard. Ensuite, point important à noter, les grands navires pourraient attaquer le port, étant donnée la profondeur du chenal, dès l'heure de la mi-marée, alors que les courants ont peu d'intensité, et ils ne seraient pas nécessairement exposés aux difficultés que ces derniers produisent à l'entrée des ports, où la hauteur d'eau ne devient suffisante qu'au plein de la mer.

Ajoutons que sous le rapport des embarras à résulter, pour les navires, de l'action des courants devant la tête des jetées, une enceinte avec môles pleins ne serait pas meilleure.

Il en est de même, lorsqu'on envisage les difficultés occasionnées à l'entrée des ports par les vagues, puisque les brisants et les lames de réflexion qui se forment devant les musoirs, quand le vent souffle du large, sont moins à craindre avec des jetées construites en partie à claire-voie qu'avec des môles pleins. Mais, ainsi qu'il a été dit précédemment, l'agitation se propage dans de plus mauvaises conditions à l'intérieur d'un chenal compris entre deux jetées parallèles qu'à l'intérieur d'un avant-port de forme évasée.

Quand la mer est fortement soulevée par le vent, les puissantes lames, qui heurtent avec violence les musoirs, pénètrent dans la passe d'entrée sous la forme de houle ayant une courbure allongée et qui va rencontrer les jetées, en changeant de direction et de configuration à cause des réflexions qu'elle subit près de ces ouvrages. Toutefois, cette agitation peut être sensiblement atténuée, en donnant aux jetées basses un talus intérieur très-peu incliné, de façon à ce que la crête se trouve à une certaine distance en arrière de la charpente des jetées hautes, et en établissant, au besoin, sur ce talus, un pilotis destiné à amortir



les ressacs et les lames en retour. Elle ne saurait, en tous cas, porter obstacle à la bonne navigabilité du chenal, but essentiel à atteindre, puisque ce dernier ne devrait point servir de mouillage aux navires, mais seulement de passe d'accès conduisant vers les écluses d'entrée du canal maritime; il est indispensable toutefois que celles-ci soient précédées d'un avant-port où il règne, pendant les tempêtes, un calme relatif suffisant pour manœuvrer les portes avec sécurité, et qu'elles soient assez éloignées de l'entrée pour qu'il soit possible aux bâtiments de perdre leur aire avant d'y arriver.

Pour satisfaire à cette double condition, nous donnerions au chenal une longueur de 1350 mètres; sa partie amont, de 700 mètres de longueur, se trouverait à l'intérieur de la ligne des dunes et communiquerait avec un avant-port de 450 mètres de longueur et 220 mètres de largeur moyenne. La distance à parcourir par les navires, depuis la tête des jetées jusqu'aux écluses d'entrée du canal maritime, serait donc de 1800 mètres, distance bien suffisante sans doute, eu égard à la situation de l'avant-port en dehors de l'axe du chenal.

Avec cette disposition, l'avant-port serait abrité, par les dunes, contre les vents du large, principalement contre les vents dominants du N.O.; et, pour empêcher que les lames qui se propagent dans le chenal, ne puissent étendre leur agitation jusqu'aux écluses, au point d'y causer un clapotage dangereux ou gênant, on établirait au besoin, de chaque côté du chenal extérieur, un vaste brise-lames. Ces enceintes s'ouvriraient en arrière des jetées sur une largeur de 250 mètres et offriraient une longueur de 300 mètres, mesurée suivant leur axe. L'arête de raccordement avec le talus des jetées basses serait placée au niveau des plus basses mers. Un troisième brise-lames pourrait être établi sur la rive est du chenal intérieur.

En ce qui concerne la profondeur à adopter pour l'avant-port, elle pourrait être fixée à 5<sup>m</sup>,50 sous le repère, en tenant compte de cette circonstance que la perte d'eau à résulter du creux des lames y serait sensiblement moindre que dans le chenal extérieur. Les terre-pleins se trouveraient à la cote  $\pm$  6<sup>m</sup>,80, soit à 0<sup>m</sup>,20 au-dessus du niveau des plus hautes mers connues; ils seraient précédés de talus présentant également une très-faible inclinaison pour diminuer les effets du ressac. Le long du talus ouest, on établirait un débarcadère en charpente pour l'accostage des navires.

Les écluses à sas, placées au fond de l'avant-port, établiraient la communication avec le canal maritime, qui présenterait, de ce côté, une partie élargie. Elles seraient accouplées; l'une aurait 21 mètres de largeur et 150 mètres de longueur, l'autre 14<sup>m</sup>,00 de largeur et 125 mètres de longueur. Les buscs se trouveraient



au niveau du plafond de l'avant-port et offriraient, par conséquent, 10<sup>m</sup>,23 d'eau aux marées hautes de vive eau et 9<sup>m</sup>,33 aux marées hautes de morte eau ordinaires.

Les sas seraient fermés, à chacune de leurs extrémités, par une paire de portes d'ebbe, munies du côté aval de portes-valets. Une paire de portes intermédiaires les diviserait en deux compartiments, ayant respectivement 83<sup>m</sup>,00 et 55<sup>m</sup>,00 de longueur pour l'écluse de 21 mètres, et 76<sup>m</sup>,00 et 44<sup>m</sup>,00 pour celle de 14<sup>m</sup>,00 de largeur.

Le canal étant alimenté à l'eau de mer, il conviendrait d'en fixer la flottaison au niveau moyen des hautes mers de morte eau, soit à 3<sup>m</sup>,58 au-dessus du repère, et de creuser le plafond à 4<sup>m</sup>,42 sous ce dernier, afin de maintenir facilement, en tout temps, une profondeur de 7<sup>m</sup>,75, au moins, sous la ligne d'eau. La partie élargie du canal, projetée immédiatement en amont des écluses, aurait 300 mètres de longueur et 200 mètres de largeur au niveau de la flottaison; son plafond se raccorderait en plan incliné avec le radier de ces ouvrages d'art.

Il nous reste à parler du système des chasses.

Le bassin de retenue, placé dans le prolongement du chenal, aurait la forme d'un secteur circulaire d'une superficie de 120 hectares. Le pied du talus intérieur des digues se trouverait à 1<sup>m</sup>,80 au-dessus du repère; le plafond de l'enceinte se tiendrait à cette cote dans la zone circulaire attenante à la digue du fond, sur une étendue de 700 mètres à partir de celle-ci. Dans la partie aval du bassin, l'axe du plafond irait en s'abaissant régulièrement, de manière à se trouver à 4<sup>m</sup>,00 sous le repère près de l'écluse de chasse, dont le radier serait établi au même niveau et précédé d'un arrière-radier, se raccordant sous une pente de 0<sup>m</sup>,015 par mètre avec le plafond du chenal; les segments latéraux de la partie aval du bassin seraient creusés en pente vers l'axe de celui-ci.

L'écluse de chasse comprendrait 13 pertuis de 5 mètres d'ouverture chacun, et pourrait lancer dans le chenal un volume d'eau d'environ 3 millions de mètres cubes en trois quarts d'heure.

Il est à observer que, dans le cas actuel, les chasses n'auraient pas pour but de combattre les atterrissements devant la tête des jetées; ces atterrissements sont fort peu à craindre à Heyst, et ils pourraient, dans tous les cas, être enlevés, sans grands frais, par le dragage. Les chasses serviraient spécialement à prévenir l'envasement du chenal, et sous ce rapport leur efficacité ne nous paraît pas douteuse. Car, lorsque les vases sont fraîchement apportées, elles flottent en quelque sorte à la surface du fond et, sous l'action de chasses aussi puissantes que celles proposées au projet, elles seraient certainement refoulées régulièrement



vers la mer. On n'aurait pas à craindre du reste que ces matières, qui n'auraient pas eu le temps de se tasser et qui, en sortant du chenal, seraient mélangées à une grande masse d'eau, produisent des dépôts devant l'entrée du port; elles seraient aussitôt entraînées par les courants de flot et de jusant et remuées par les vagues, dont l'effet se fait particulièrement sentir le long du talus sous-marin qui précède la côte de Heyst.

Quant au bassin de retenue, sa construction se présenterait dans des conditions relativement économiques, puisque les terrains nécessaires à son emplacement, ne donneraient lieu ni à des frais d'expropriation considérables, ni à des terrassements trop coûteux; le niveau de ces terrains n'est situé qu'à 3<sup>m</sup>,50 environ au-dessus de celui des basses mers de vive eau, et les déblais pourraient être déposés sur les terres basses qui se trouvent entre la dune et la digue du comte Jean.

L'envasement du bassin, dont le plafond se trouverait, dans la majeure partie de son étendue, à 1<sup>m</sup>,80 au-dessus du niveau de marée basse, et où la mer ne serait introduite que pendant la période des chasses, ne saurait être important, ni occasionner par conséquent de grands frais de curage; il se produirait à peu près dans les mêmes proportions qu'au bassin de chasse du port de Blankenberghe, où l'exhaussement total constaté depuis 1873, époque à laquelle il a commencé à fonctionner, n'est en moyenne que de 0<sup>m</sup>,52 dans la partie centrale.

Or, si l'on calcule approximativement la dépense à résulter de l'exécution des travaux destinés à l'organisation des chasses projetées, et si l'on ajoute à l'intérêt de ce capital, les frais annuels d'entretien et de fonctionnement du système, on obtient un chiffre qui n'atteint pas le  $\frac{1}{6}$  du coût *minimum* auquel on doit estimer les dragages qu'il y aurait à faire tous les ans, pour maintenir une passe centrale de 250 mètres de largeur, dans une enceinte comprise entre deux môles insubmersibles en blocs artificiels. Et, comme nous l'avons dit, le système des chasses constitue incontestablement un mode d'entretien plus régulier et préférable, sous tous les rapports, à celui des dragages.

Afin de prévenir l'envasement de l'avant-port, on effectuerait, à l'époque des marées de vive eau, des chasses au moyen de la tranche d'eau supplémentaire du canal; des vannes seraient ménagées à cet effet dans les portes des écluses à sas; il existerait en outre des aqueducs spéciaux dans les terre-pleins attenants à ces ouvrages; ceux situés du côté est, pourraient être mis en communication avec le grand bassin de retenue, afin de faire servir, au besoin, une partie des eaux de ce dernier au curage de l'avant-port.

La construction du port de Heyst nécessiterait évidemment le détournement



du chemin de fer de Blankenberghe, lequel devrait passer au-dessus du canal maritime à l'aide d'un pont tournant, et au-dessus des canaux de Selzaete et de dérivation de la Lys à l'aide de deux ponts fixes.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur le projet dont nous venons d'indiquer les lignes principales; ainsi qu'il a été dit, ce projet ne doit être considéré que comme une simple étude, ayant pour but de faire voir dans quelles conditions on pourrait, en principe, tirer le meilleur parti de la situation hydrographique de la côte de Heyst, pour y établir un nouveau port de commerce, en communication avec la ville de Bruges au moyen d'un canal maritime.



## ANNEXE I.

### INSTALLATIONS MARITIMES ET OUTILLAGE HYDRAULIQUE DU PORT D'ANVERS.

---

L'Escaut constitue, devant Anvers, une belle rade fort bien abritée et permettant le mouillage aux plus grands navires. Avant 1878, le fleuve était bordé de 2170 mètres de murs de quai, interrompus par quatre anciennes criques qui débouchaient dans le fleuve. Mais ces quais, construits par parties successives et suivant des alignements irréguliers, ne se prêtaient pas à desservir un trafic important; il n'était pas possible de les munir de voies ferrées, à l'exception du quai du Rhin, et les navires ne pouvaient en accoster le pied, sans échouer à marée basse; de plus, la largeur du terre-plein était beaucoup trop faible pour y opérer la manutention des marchandises dans de bonnes conditions.

Ces anciens ouvrages sont remplacés aujourd'hui par les magnifiques quais, que l'Etat a fait construire ces six dernières années, et où les plus grands navires peuvent venir aborder en tout état de la marée.

Les nouveaux quais, d'une longueur totale d'environ 3500 mètres, sont établis suivant une courbe régulière, concave vers le fleuve, et formée de plusieurs arcs de cercle raccordés tangentiellement; ces arcs ont des rayons variant progressivement, de manière à donner à l'ensemble du mur une forme telle, que les courants portés vers lui, à cause de sa concavité, le suivent dans toute son étendue. (Pl. XXXI).

La rectification des quais primitifs, suivant la courbe adoptée, a pour but d'augmenter l'action des courants de marée en cette partie du fleuve, et de la préserver ainsi de l'envasement.

Le massif des murs est entièrement construit en briques de Boom de l'espèce dite *Klampsteen*; les parements, jusqu'à 1 mètre en contre-bas du niveau moyen des basses mers à Anvers, sont en pierre de taille de Soignies; ils sont surmontés d'une tablette de couronnement, dont la face supérieure se trouve à 6<sup>m</sup>,65 au-dessus du même niveau.

Le mur a 14<sup>m</sup>,35 de hauteur, 2 mètres de largeur à la partie supérieure et 7 mètres de largeur à la base; il présente, du côté de l'Escaut, un fruit de  $\frac{1}{20}$



depuis le couronnement jusqu'au niveau de basse mer, et de  $\frac{1}{10}$  depuis ce dernier niveau jusqu'à la fondation, dont la face supérieure se trouve partout à 8 mètres en contre-bas du plan de marée basse. Le massif de fondation a une largeur uniforme de 9 mètres et sa hauteur varie selon la profondeur du lit du fleuve et selon la nature du sol. Cette hauteur reste comprise entre 2<sup>m</sup>,50 et 8<sup>m</sup>,00, ce qui fait descendre la face inférieure de la fondation de 10<sup>m</sup>,50 à 16 mètres sous le niveau des basses mers.

La construction de ces quais était sans doute fort difficile, car une grande partie des murs a dû être établie dans le fleuve à 100 mètres environ de la rive, dans des profondeurs d'eau mesurant en certains endroits 12 mètres à marée basse; de plus, l'agitation des eaux, devant Anvers, est parfois très-grande et la vitesse du courant de flot y atteint jusqu'à 1<sup>m</sup>,90 par seconde.

Les travaux ont été confiés à MM. les entrepreneurs Couvreur et Hersent, ayant pour ingénieur M. Coiseau. L'administration des Ponts et Chaussées organisa, pour leur direction, un service spécial, à la tête duquel se trouvait M. l'Inspecteur Général De Jaer; M. De Jaer, décédé en 1880, fut remplacé par M. l'Inspecteur Général Lamal. M. de Matthys, Ingénieur en Chef Directeur et M. Prisse, Ingénieur Principal, étaient chargés du service à Anvers.

Esquissons en peu de mots le procédé qui a été suivi pour la construction des nouveaux quais.

MM. Couvreur et Hersent ont divisé la longueur totale des quais en tronçons de 25 mètres de longueur, à établir bout à bout sur le terrain résistant, sans aucun massif intermédiaire pour asseoir la fondation. Chaque tronçon ou élément de mur a été exécuté à l'aide d'un système très-ingénieux de leur invention et qui comprend essentiellement: 1° un caisson métallique à air comprimé, destiné à déblayer le sol et à fonder la base du mur. Ce caisson est rempli de béton; il fait partie intégrante de la fondation et reste enfoui; 2° un batardeau mobile en tôle, ayant la même forme que le caisson et directement boulonné sur celui-ci.

A l'aide de ce batardeau, on peut construire à sec et à l'air libre, même à marée haute, la partie du mur de quai comprise entre l'arête supérieure de la fondation et le niveau de basse mer. Lorsque la maçonnerie est exécutée jusqu'à ce niveau, on déboulonne le batardeau par dessous, on le soulève au moyen de chaînes de suspension fixées à un échafaudage flottant, et on le transporte au-dessus d'un nouveau caisson.

L'échafaudage flottant sert aussi à mettre les caissons en place et à en opérer le fonçage.



Chaque caisson a 25 mètres de longueur, 9 mètres de largeur et une hauteur variant de 2<sup>m</sup>,50 à 8<sup>m</sup>,00, suivant la profondeur à laquelle doit être établie la fondation. Il est divisé en deux parties par une paroi horizontale, rivée sur une série de poutres transversales en treillis; la partie située au-dessous de cette paroi a 1<sup>m</sup>,90 de hauteur; elle sert de *chambre de travail* où l'on exécute le déblai à faire au fond du fleuve. Une cornière, rivée sur tout le pourtour de l'arête supérieure du caisson, reçoit les boulons pour l'assemblage de ce dernier avec le batardeau mobile. Le plafond du caisson présente 5 ouvertures, donnant passage à une cheminée d'accès avec double sas à air, et à 4 cheminées pour béton.

Le batardeau mobile a une hauteur de 12 mètres; il présente, à sa partie inférieure, un couloir fermé en tôle, de 1<sup>m</sup>,50 de hauteur et 0<sup>m</sup>,50 de largeur, permettant de boulonner ou de déboulonner sous l'eau, au moyen de l'air comprimé, le joint entre le batardeau et le caisson. On pénètre dans ce couloir à l'aide de 4 cheminées avec sas à air. Les parois du batardeau sont consolidées, à l'extérieur, par des armatures de poutrelles en fer et de croisillons, et, à l'intérieur, par un entretoisement de fortes poutres fixées à la partie supérieure.

Un batardeau mobile complet pèse environ 200 tonnes. Le poids d'un caisson, variable évidemment selon sa hauteur, est en moyenne de 90 tonnes.

L'intervalle qui reste entre deux tronçons successifs, par suite de la place occupée par les parois du batardeau, est rempli avec du béton, coulé dans l'eau, entre deux panneaux en bois, jusqu'à la hauteur du niveau de marée basse, et reliés à la maçonnerie des tronçons à l'aide d'échancrures verticales. Au-dessus de ce niveau, le mur est tout à fait continu.

L'échafaudage flottant est composé de deux bateaux en fer de 26 mètres de longueur et de 5 mètres de largeur, espacés l'un de l'autre de 10 mètres. Ils sont surmontés de 6 fermes en fer de 12 mètres de hauteur, contreventées entre elles et réunies par la tête ainsi que par les deux bouts. Le batardeau mobile est suspendu dans l'espace compris entre les deux bateaux; on le fait monter ou descendre à l'aide d'un appareil de levage composé de 12 treuils à noix, attachés supérieurement aux deux bouts de chacune des fermes et mis en mouvement par une même machine à vapeur. La transmission de mouvement d'un bateau à l'autre se fait au moyen de deux chaînes-Galle; afin de compenser les petites inégalités des chaînes de levage, celles-ci sont réglées au moyen de ressorts à cinq disques en caoutchouc, qui régularisent la répartition de la charge. Chaque palan a un effort maximum à faire de 20 tonnes, et le batardeau peut être levé de 10 à 12 mètres en une heure.



Les bateaux contiennent, dans la cale, les machines à vapeur employées à la manœuvre du batardeau mobile, les machines à comprimer l'air et les pompes d'épuisement; sur le pont se trouvent les machines à fabriquer le mortier et les engins de manutention des matériaux <sup>(1)</sup>.

Les nouveaux murs de quai, construits sur une étendue totale de 3500 mètres, ont coûté, en moyenne, 10 000 fr. le mètre courant.

Les criques qui débouchaient dans l'Escaut devant Anvers, avant la démolition des anciens quais, et où venaient se réfugier les bateaux d'intérieur, ont été comblées; l'Etat a construit, en leur remplacement, de vastes bassins de batelage, creusés parallèlement à l'Escaut. Ces bassins, au nombre de trois, sont reliés par des chenaux de 10 mètres d'ouverture; ils présentent 4 hectares de superficie et 1800 mètres de murs de quai, ayant un terre-plein de 30 mètres de largeur; leur profondeur est de 2 mètres sous le niveau des basses mers à Anvers, et leur flottaison de 3<sup>m</sup>,60 environ au-dessus du même niveau. L'écluse par laquelle les bassins de batelage communiquent avec le fleuve, a 13 mètres de largeur à chacune des têtes, et comprend un sas intermédiaire de 75 mètres de longueur sur 25 mètres de largeur. La tête amont est munie d'une paire de portes d'ebbe; la tête aval d'une paire de portes d'ebbe et d'une paire de portes de flot.

Entre la gare du Sud et les fortifications, il est projeté un bassin d'échouage de 115 mètres de longueur sur 50 mètres de largeur, entouré de quais et destiné aux bateaux qui descendent le fleuve pour apporter à Anvers des matériaux de construction, briques, chaux, etc.

Les nouveaux quais ont un terre-plein de 100 mètres de largeur; ils seront desservis, sur toute leur longueur, par deux voies principales destinées à la circulation des trains et desquelles se détacheront trois voies parallèles: l'une pour les wagons arrivant chargés, la seconde pour les wagons arrivant à vide, la troisième, qui est couverte par des hangars, pour les opérations de chargement et de déchargement. Le long de la tablette du mur règnera une sixième voie, raccordée aux autres par des voies transversales passant entre les divers groupes de hangars, et sur laquelle rouleront les grues hydrauliques; cette dernière voie est destinée aux transbordements directs de navire à wagon. Entre la quatrième voie et le quai seront construits des hangars en fer, de 50 mètres de largeur et qui occuperont une surface de 100 000 mètres carrés, lorsqu'ils seront entièrement terminés. Les installations de chemins de fer et de hangars

(1) Les travaux de construction des nouveaux quais sont décrits dans un *Aperçu sur les installations maritimes du port d'Anvers*, publié, lors de la visite faite aux travaux de ce port, par l'association des ingénieurs sortis de l'école de Liège, ainsi que dans un mémoire de M. A. Royers, Ingénieur de la ville d'Anvers, publié par « l'Institution of Mechanical Engineers. »



que nous venons de mentionner, sont déjà établies sur une longueur de 1400 mètres.

Au sud du bassin de batelage s'étend une vaste gare à voyageurs et à marchandises, d'une superficie de 20 hectares, destinée surtout à desservir les nouveaux quais. Cette gare, appelée gare d'Anvers-Sud, de même que le quartier nouvellement créé qui s'étend devant elle, sera peut-être reliée plus tard à la rive gauche de l'Escaut par un pont présentant une voie charretière et un passage pour une ou deux voies ferrées.

Le port d'Anvers proprement dit se trouve à l'extrémité nord de la ville. Il comprend 7 bassins à flot d'une superficie totale de 40 hectares, entourés de 4000 mètres de murs de quai et estacades servant aux opérations commerciales, et de 2500 mètres de talus accostables pour les navires. Les terre-pleins affectés à la manutention des marchandises occupent une surface totale d'environ 27 hectares, avec 40 000 mètres carrés de hangars.

Deux bassins, celui du Kattendyk et le petit bassin, débouchent directement dans l'Escaut; le premier, par une écluse de 23<sup>m</sup>,74 de largeur, avec buses placés à — 3<sup>m</sup>,23 par rapport au niveau des basses mers, et dont le sas a 110 mètres de longueur sur 70 mètres de largeur; le second, au moyen d'une écluse simple de 14<sup>m</sup>,40 de largeur avec buses placés à la cote — 2<sup>m</sup>,69.

Dans les circonstances normales, le tirant d'eau maximum est de 6<sup>m</sup>,40 pour les navires entrant par l'écluse du Kattendyk, et de 6<sup>m</sup>,10 pour ceux qui entrent par l'écluse ancienne. La hauteur de flottaison dans les bassins est fixée à la cote + 3<sup>m</sup>,60; le fond de ceux-ci se trouve respectivement à — 2<sup>m</sup>,23 pour le grand bassin, le petit bassin et le bassin de jonction, à — 3<sup>m</sup>,58 pour celui du Kattendyk et à — 4<sup>m</sup>,78 pour ceux du Canal et de la Campine et pour le bassin aux Bois. Deux écluses intérieures servent à la communication des bassins entre eux; la première, de 18 mètres de largeur, se trouve entre les deux vieux bassins; la seconde, de même largeur, entre le bassin de jonction et celui du Kattendyk.

Au quai ouest de ce dernier, il existe trois formes de radoub présentant les dimensions principales suivantes: la première, 110 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 23<sup>m</sup>,74 de largeur et 6<sup>m</sup>,83 de profondeur d'eau sous la flottaison; la seconde, 65 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 12 mètres de largeur et 4<sup>m</sup>,14 de profondeur d'eau; la troisième, 44 mètres de longueur avec écluse d'entrée de 10 mètres de largeur et 2<sup>m</sup>,76 de profondeur d'eau. Ces formes sont fermées au moyen de portes busquées.

Les quais des bassins sont desservis par des voies ferrées, ayant ensemble une longueur de 65 kilomètres et comprenant de vastes gares de chemin de fer, dont la surface totale ne mesure pas moins de 32 hectares.



La gare d'Anvers-Bassins-Stuyvenberg sert à la composition et à la décomposition des trains et forme tête de ligne; elle est réservée en outre pour le trafic local de la ville d'Anvers et pour les transports à petite vitesse, échangés avec la Hollande. La gare principale d'Anvers-Bassins, qui fait suite à la précédente, est destinée au classement et au dépôt temporaire des wagons à l'arrivée; elle groupe tous les wagons pleins ou vides, qui sont dirigés sur les bassins et les entrepôts ou qui en reviennent; elle effectue aussi le chargement sur wagon des marchandises débarquées sur les quais non pourvus de rails, ou provenant de magasins particuliers; ces marchandises sont amenées par voitures. Le chargement s'opère, en partie, sous une halle de 200 mètres de longueur et de 70 mètres de largeur, contenant deux voies charretières de 12 mètres et quatre quais d'embarquement de 8 mètres, au delà desquels se trouvent parallèlement les voies ferrées. Les gares d'Anvers-Bassins sont reliées avec la gare d'Anvers-Est, appelée jadis gare de Borgerhout, par un embranchement de 3 kilomètres  $\frac{1}{2}$  de longueur, qui contourne la ville en longeant la nouvelle enceinte. Cette dernière gare est réservée spécialement au service des voyageurs et des bagages, et à celui des marchandises expédiées par express ou en grande vitesse.

De la gare principale d'Anvers-Bassins partent les voies ferrées desservant les divers quais. Deux petites gares-annexes ont été établies, l'une au nord du bassin aux Bois, et l'autre au quai du Rhin; la première sert principalement au chargement des bois; la seconde est destinée à la réception et à l'expédition des marchandises transportées par les bâtiments, chargeant et déchargeant au dit quai. Le long du quai est du bassin du canal, il existe une série de voies, destinées à la manœuvre et au chargement des wagons venant prendre les minerais.

Le bassin du Kattendyk a été prolongé récemment de 350 mètres au nord, et on y a construit 3 nouvelles cales sèches de 133 mètres de longueur à la pierre de quille et de 15 mètres de largeur à l'entrée. Ces formes, destinées aux bâtiments légers, présentent 5<sup>m</sup>,24 de tirant d'eau sur les buscs, sous la flottaison; elles sont fermées au moyen de portes busquées.

La ville a fait construire en outre un bassin de batelage à l'endroit du Looibroek, de 450 mètres de longueur sur 40 mètres de largeur, destiné à la navigation du canal de la Campine, et elle exécute en ce moment des travaux très-importants pour l'extension des bassins vers le nord. Ces travaux comprennent l'établissement de deux nouveaux bassins, ayant ensemble 21 hectares de superficie et 9 mètres de tirant d'eau, avec 3400 mètres de développement de murs de quai.

Arrivons à l'outillage hydraulique servant à l'exploitation du port.

L'application de la force hydraulique aux divers engins en usage pour



l'exploitation des docks, a pour principe d'emmagasiner et de distribuer à volonté la force motrice d'une machine à vapeur, en se servant de l'eau comme intermédiaire; l'emploi de ces engins tend à se généraliser de plus en plus, non seulement pour le chargement et le déchargement des marchandises, mais aussi pour l'ouverture et la fermeture des portes d'écluses, la manœuvre des ponts mobiles, des cabestans, des plaques tournantes, etc.

Ils furent inventés par sir William Armstrong; les premières grues fonctionnèrent, en 1839, à New-Castle, à l'aide de l'eau des conduites de la ville; elles furent installées bientôt, dans les mêmes conditions, à Liverpool.

En 1849, M. Rendel, Ingénieur du port de Great-Grimsby, ne disposant pas de cette ressource, construisit un réservoir placé sur une tour de 60 mètres de hauteur et alimenté par une machine à vapeur.

Ce système présentait de nombreux inconvénients, et, dans certaines localités, son application eût même été fort difficile à cause de la nature peu résistante du sol.

M. Armstrong imagina alors l'emploi d'un réservoir à air comprimé, mais il reconnut bientôt que de pareils réservoirs ne se prêtent qu'à un emmagasinage restreint, qu'ils donnent une pression trop variable et entraînent à bien des difficultés résultant de l'absorption de l'air par l'eau. Il inventa finalement, en 1850, son appareil connu sous le nom d'accumulateur et dont le fonctionnement rappelle celui de la presse hydraulique.

L'accumulateur consiste en un cylindre en fonte, où l'on refoule l'eau au moyen d'une machine à vapeur, et à l'intérieur duquel se meut un piston plongeur surmonté d'un grand poids; celui-ci produit une pression déterminée et constante sur l'eau qui se trouve en dessous, et qui communique avec celle de la canalisation générale; son mouvement commande un régulateur d'introduction de vapeur dans la machine d'alimentation, de manière à régler le travail de cette dernière d'après celui des engins hydrauliques. Avec cet appareil, la pression de l'eau motrice, qui n'avait pas dépassé jusqu'alors 90 livres par pouce carré ( $6^k,327$  par centimètre carré), fut portée à 600 livres, soit  $42^k,180$  par centimètre carré ou 41 atmosphères, et elle a atteint depuis, un chiffre beaucoup plus élevé encore. On est allé jusqu'à 136 atmosphères. C'est là un avantage très-grand du système, car il permet de réduire notablement les dimensions des tuyaux de distribution et celles des organes des machines à mettre en mouvement.

Mais la supériorité des engins hydrauliques résulte surtout de ce que l'eau sous pression permet de produire, plus facilement et plus économiquement que la vapeur et l'air comprimé, des actions intermittentes devant s'exercer à de



grandes distances et n'exigeant séparément qu'un travail peu considérable, comme c'est le cas pour l'exploitation des docks.

L'expérience montre en effet que les appareils placés sur une conduite ne fonctionnent jamais ensemble, et il n'est aucunement besoin, par conséquent, de proportionner les dimensions des conduites et la puissance des accumulateurs de manière à faire travailler tous les engins à la fois.

L'emploi de l'eau sous pression présente, sur les engins à vapeur, cet autre avantage de diminuer les dangers d'incendie, et aussi ceux que l'on doit craindre en cas d'explosions; car l'eau n'étant pas compressible, ne possède pas la propriété de se détendre et de donner lieu à des projections bien dangereuses.

L'ensemble des machines hydrauliques du port d'Anvers comprend l'outillage des bassins à flot de la ville et de la gare principale de ces bassins, et celui que l'on vient d'installer pour desservir les nouveaux quais de l'Escaut et le bassin de batelage.

L'outillage hydraulique des bassins a été établi en 1877 par sir William Armstrong, sous la direction de M. A. Royers, Ingénieur de la ville d'Anvers; il se compose d'une machine d'alimentation de 150 chevaux de force, à deux cylindres horizontaux, à détente et à condensation. Les tiges des pistons actionnent un seul arbre portant le volant, et sur lequel est calée une manivelle, qui donne le mouvement à une pompe élévatoire, destinée à envoyer l'eau dans un réservoir placé en contre-haut des pompes de pression. Celles-ci se trouvent à l'arrière des cylindres à vapeur, et leurs pistons, qui sont mus directement par les tiges prolongées des pistons à vapeur, refoulent l'eau des réservoirs dans l'accumulateur.

Pour que l'alimentation dans l'accumulateur soit continue, le piston des pompes de pression présente une disposition spéciale: la tige a une section exactement égale à la moitié de la section du piston. (Pl. XXXII, fig. 1). Quand ce dernier refoule l'eau par sa section annulaire, il en lance une certaine quantité dans l'accumulateur, en même temps que le cylindre se remplit du côté de l'autre section du piston. Quand le refoulement a lieu par cette dernière section, une moitié de l'eau contenue dans le cylindre remplit l'espace annulaire, pendant que l'autre se dirige vers l'accumulateur. La quantité d'eau refoulée dans celui-ci est donc la même, quel que soit le sens de la marche du piston.

Le piston de l'accumulateur a 20 pouces (0<sup>m</sup>,508) de diamètre et une course de 23 pieds 6 pouces (7<sup>m</sup>,16).

Les chaudières à vapeur sont au nombre de quatre, marchant deux à deux en service courant. L'installation du bâtiment des machines est disposée de



manière à permettre par la suite l'établissement de deux nouvelles machines de même force, avec quatre chaudières et un second accumulateur.

La distribution des conduites s'étend à peu près à tous les quais; les tuyaux ont une longueur totale de plus de 5000 mètres avec des diamètres variant de 2 à 6 pouces (0<sup>m</sup>,05 à 0<sup>m</sup>,15). Il n'existe pas de canalisation pour le retour de l'eau à la machine.

Au droit des joints, les tuyaux présentent des collets ovales, à deux boulons seulement, disposition qui permet de serrer les écrous, dans une tranchée, plus facilement que si les tuyaux avaient des collets circulaires; elle présente encore cet avantage de se prêter à un peu de flexion dans le sens horizontal.

Les tuyaux se terminent, à l'une des extrémités, par un bout mâle, et à l'autre par un bout femelle; le joint se fait en mettant dans le creux du bout femelle un anneau en gutta-percha, et en serrant le plus possible les deux boulons. (Pl. XXXII, fig. 2).

Des prises d'eau sont ménagées sur la canalisation générale, aux endroits où les engins mécaniques doivent être placés; il existe en outre des bouches de 50 en 50 mètres, destinées à recevoir des tuyaux avec lance pour incendie. Lorsqu'un incendie se déclare, la pression de l'eau envoyée dans les conduites ne dépasse pas 12 atmosphères. Cette pression moindre s'obtient en interceptant la communication entre la canalisation et l'accumulateur et en remplaçant ce dernier par un réservoir à air, qui assure la continuité du jet. Lorsque la pression de 12 atmosphères est atteinte, un appareil spécial arrête automatiquement la machine; cet appareil se compose d'un petit accumulateur, c'est-à-dire d'un cylindre vertical avec piston plongeur chargé de poids, en communication par un tuyau avec la boule d'air. Dès que la pression augmente dans celle-ci, le piston monte et il interrompt, par une transmission au moyen de chaînes, l'arrivée de vapeur à la machine.

Les engins hydrauliques installés actuellement aux bassins d'Anvers sont: 10 appareils pour la manœuvre de 5 paires de portes d'écluse; 7 appareils pour la manœuvre de 7 ponts tournants, et un appareil pour la manœuvre d'un grand pont roulant; un cabestan calculé pour un effort de 11 tonnes et 5 autres de 5 tonnes, destinés au halage des navires; 6 cabestans servant à haler les wagons, à tirer les poutres hors de l'eau et à opérer le déplacement des grues roulantes; 6 grues pouvant lever chacune jusqu'à 700 et 1500 kilos avec des dépenses d'eau proportionnelles à ces charges; une grue de 2 tonnes; une grue de 40 tonnes; enfin une bigue construite d'après le système Clarke et capable de lever une charge de 120 tonnes.

Ces engins, comme ceux de la maison Armstrong en général, sont d'une



construction variée, mais tous sont disposés de manière à être, avant tout, d'une manœuvre simple et facile. Ils peuvent se rattacher à deux types principaux : les machines destinées à imprimer à la résistance à vaincre un mouvement de translation horizontal ou vertical, (élévation du fardeau dans le cas des grues), et les machines destinées à produire un mouvement de rotation.

Dans les premières, la transmission de la force motrice se fait à l'aide d'un seul cylindre à piston ; une chaîne passant sur des mouffles a pour effet de multiplier la course du piston par un facteur, qui dépend de la combinaison adoptée pour les poulies fixes et pour les poulies mobiles. Les appareils les plus simples sont ceux qui ne servent que pour une charge maximum déterminée ; ils dépensent à chaque manœuvre un volume d'eau constant, soit qu'ils fonctionnent à cette charge, soit qu'ils fonctionnent à une charge moindre ou même à vide. Afin de réduire la perte de travail qui en résulte, on a construit des machines offrant deux degrés de puissance, ce qui peut se faire avec un cylindre unique. Il existe à cet effet deux dispositifs différents. Dans l'un d'eux, l'eau peut être introduite de chaque côté du piston, de façon à ne la faire agir que sur une section égale à celle de la tige de ce dernier, ou bien d'un côté, pour exercer sa pression sur la surface libre du piston ; dans l'autre dispositif, le piston est composé de deux parties concentriques qui marchent ensemble, quand on veut produire l'effort maximum, et dont la partie extérieure est rendue fixe à l'aide d'un verrou, quand on veut exercer le plus petit effort. (Pl XXXII, fig. 3 et 4).

Les appareils qui provoquent le mouvement de rotation consistent, en principe, en des machines à colonnes d'eau, qui sont analogues, comme on sait, à des machines à vapeur travaillant sous une pression déterminée, sans détente ni condensation, et où le volume de vapeur dépensé serait remplacé par un égal volume d'eau en charge sous la même pression.

Lorsque la transmission de la force motrice s'effectue par l'intermédiaire d'un mouvement de rotation, on emploie souvent des machines à trois cylindres conjugués, à simple effet, actionnant un arbre coudé de transmission. Ce dispositif convient surtout pour les engins très-puissants exigeant une grande régularité ; il ne présente, en effet, pas de point mort pour l'ensemble, puisqu'il y a toujours l'un des trois pistons qui est en charge à une certaine distance de son propre point mort. Mais dans la plupart des cas, les machines de rotation ont deux cylindres oscillants, ce qui permet de leur donner une forme plus ramassée.

Exceptionnellement, on a recours à des appareils plus compliqués, afin de réaliser trois degrés de puissance, sans faire usage d'engrenages. Citons par exemple les machines à trois cylindres à piston demi-plongeur, où la pression



de l'eau peut être admise, soit sur les grandes faces des pistons, soit sur les grandes faces et sur les surfaces annulaires, soit sur les surfaces annulaires seulement.

Les appareils, destinés à la manœuvre des ponts tournants et des portes d'écluse des bassins du port d'Anvers, sont à deux cylindres oscillants à piston différentiels, la surface inférieure du piston étant double de la surface annulaire opposée; celle-ci est constamment en communication avec l'eau de la conduite, qui pénètre dans les cylindres par les tourillons, tandis que la surface circulaire communique alternativement avec l'eau en pression et avec l'air libre, de manière que la machine travaille par différence de pression dans un sens, et par pression totale dans l'autre.

Les machines des ponts transmettent le mouvement de rotation par un simple arbre à pignon conique, qui engrène avec un secteur denté horizontal, fixé contre les longerons; la distribution se fait à l'aide de tiroirs à glissières, permettant la marche en avant et en arrière. Le calage des ponts est obtenu au moyen de quatre sabots en forme de coins, qui reçoivent leur mouvement de va et vient de pistons hydrauliques spéciaux, attachés au tablier, et où l'eau sous pression arrive par des tuyaux articulés.

Pour la manœuvre des portes, on embraye, dans un sens ou dans l'autre, l'engrenage conique calé sur l'arbre de la machine, avec celui qui commande la barre à crémaillère, fixée au poteau busqué de la porte. Dans ces machines, la distribution se fait par le tourillon même.

Le pont roulant, établi sur l'écluse du bassin de Kattendyk, au-dessus d'un passage de 27<sup>m</sup>,50 de largeur, à une longueur de 48<sup>m</sup>,36 et ne pèse pas moins de 375 000 kilogrammes. Pour rendre le passage libre, le pont est soulevé de 1<sup>m</sup>,00 au moyen de deux cylindres à piston plongeur de 0<sup>m</sup>,80 de diamètre, et il est tiré ensuite par des chaînes actionnées par des pistons plongeurs de 0<sup>m</sup>,61 de diamètre.

Les cabestans établis aux bassins d'Anvers appartiennent à trois types différents.

Celui calculé pour un effort de 11 tonnes et placé au musoir nord de l'écluse maritime des anciens bassins, est mû par une machine hydraulique à triple force, ayant trois cylindres oscillants à piston différentiel; la distribution se fait par des tiroirs à glissières.

Les cabestans de 5 tonnes sont établis aux divers ponts et servent à accélérer le passage des navires à travers les chenaux; ils sont actionnés par des machines à simple force, comprenant trois cylindres oscillants à piston plongeur, avec distribution par le tourillon.



Ceux de 1 tonne sont à deux cylindres oscillants à pistons différentiels et sont remarquables par leur forme ramassée. Le mécanisme est attaché au-dessous de la plaque d'assise, qui porte la cloche du cabestan (Pl. XXXII, fig. 5); cette plaque peut basculer autour d'un axe horizontal, ce qui permet de visiter le mécanisme à tout instant. L'appareil entier est contenu dans une boîte en fonte, rendue solidaire avec une pierre de fondation ou un massif en maçonnerie.

Les 6 grues roulantes, établies sur les quais Godefroy et de l'Entrepôt, sont de construction identique; elles sont composées essentiellement d'un cylindre vertical à piston plongeur, dont la course est de 2<sup>m</sup>,67. La chaîne du levage est fixée au bâti par l'une de ses extrémités; elle passe sur trois poulies mobiles, qui se meuvent avec le piston, puis sur trois poulies fixes placées près du fond du cylindre, et va s'enrouler sur le réa de la flèche, pour se terminer par le crochet qui reçoit le fardeau et dont la course est de 16 mètres. Le piston est à parties concentriques et peut développer à volonté une puissance de 700 et de 1500 kilogrammes.

Ces engins ont une portée de 9<sup>m</sup>,50; ils sont orientés à l'aide de deux cylindres hydrauliques horizontaux actionnant une chaîne, dont les extrémités sont fixes et qui s'enroulent autour du pivot. Celui-ci est creux, pour permettre l'arrivée de l'eau au cylindre élévatoire.

Les tuyaux de distribution sont placés sous le sol, entre les rails, sur lesquels se meuvent les chariots portant les grues, et présentent des prises d'eau distantes de 11<sup>m</sup>,50. A ces prises d'eau est adapté un tuyau courbé en arc de cercle, qui se prolonge horizontalement par une conduite en cuivre placée dans une rigole, parallèlement à la voie ferrée.

Cette conduite, nommée *tuyau télescopique*, pénètre, à frottement doux et par un joint étanche, dans le tuyau fixé à la partie inférieure du chariot de la grue, et par lequel celle-ci reçoit l'eau sous pression nécessaire à son fonctionnement.

La grue de 2 tonnes du quai Napoléon est construite exactement sur le même modèle, et ne diffère des précédentes que par une légère augmentation de la dimension des cylindres élévatoires.

On pourrait remplacer les tuyaux télescopiques par des conduites en caoutchouc, construites de façon à supporter la grande pression nécessaire pour le travail des appareils. Pareille conduite est employée à la grue de 40 tonnes du quai du Kattendyk; elle est munie d'une série d'anneaux en fer, qui sont assez rapprochés pour que le caoutchouc puisse résister entre deux anneaux successifs, tout en permettant la flexion du tuyau.



La grue de 40 tonnes du quai du Kattendyk était manœuvrée auparavant à bras; elle est munie actuellement d'une machine hydraulique à trois cylindres à pistons plongeurs, placée au sommet du bâti de la grue et donnant le mouvement à un arbre, sur lequel est calé un pignon qui engrène avec la chaîne de levage (chaîne-Galle). Le mouvement d'orientation est obtenu par deux cylindres couchés sur la flèche, et dont les pistons agissent par poulies mouflées sur une chaîne entourant le pied de la grue, laquelle peut décrire une demi-circonférence. En changeant l'attache du tuyau de prise d'eau et le point fixe de la chaîne d'orientation, on peut faire fonctionner la grue dans un secteur ou dans un secteur opposé.

Indiquons encore les principales dispositions de la bigue de 120 tonnes, établie au quai est du bassin du Kattendyk. (Pl. XXXIII, fig. 3 et 4).

Cet engin a été construit, en 1878, par la société John Cockerill de Seraing; il est formé de deux jambes en tôle avec cornières, pivotant dans deux supports en fonte, solidement fixés sur la tablette du mur de quai; ces pièces sont reliées supérieurement, par un pivot en acier Bessemer, à une bielle construite également en tôle et cornières de fer. La bielle porte à sa partie inférieure une traverse, munie de deux écrous en bronze; ceux-ci correspondent à deux vis, qui reçoivent un mouvement de rotation et font glisser la traverse, et par conséquent la bielle à laquelle elle est attachée, le long de deux pièces inclinées en fer, faisant corps avec le bâti de la machine. Ce mouvement de glissement peut faire avancer le sommet de la bigue, lequel se trouve à 27 mètres au-dessus du niveau du quai, de 9 mètres au delà de l'alignement du mur, et le faire reculer de 4 mètres en arrière du même alignement. Le levage de la charge s'opère à l'aide de deux palans à quatre poulies, la chaîne s'enroulant sur un tambour à rainure.

La machine est à trois cylindres avec pistons différentiels, dont les tiges actionnent, au moyen de bielles, un arbre coudé; le mouvement de rotation peut, au moyen d'un embrayage, se transmettre à une vis horizontale, engrenant avec une roue dentée, calée sur le tambour à rainure, et produire ainsi le levage; un second embrayage permet de faire tourner les deux vis inclinées et d'obtenir le mouvement d'avancement ou de recul du sommet de la bigue. L'appareil est à triple puissance pour des variations de 25, 75 et 120 tonnes; celles-ci s'obtiennent en admettant la pression alternativement sur les deux faces des pistons ou sur l'une d'elles seulement.

Pour faire l'essai de la bigue, on se sert d'un bloc en pierre mesurant 3<sup>m</sup>,35 de diamètre sur 5<sup>m</sup>,05 de hauteur, et pesant 120 000 kilogrammes. Ce



bloc se trouve dans un puits sous le crochet de la bigue et sert à faire l'épreuve de celle-ci, avant d'embarquer des pièces dont le poids se rapproche de la charge-limite.

Aux appareils que nous venons de décrire, on a ajouté récemment une nouvelle grue de 40 tonnes, à action directe, construite sur le type des petites grues mobiles. Elle est installée sur le quai est du bassin du Kattendyk.

L'outillage hydraulique de la gare principale d'Anvers-Bassins est construit également par la firme Armstrong de New-Castle. Il comprend un accumulateur, dans lequel l'eau est refoulée par deux pompes à piston plongeur, capables de comprimer celle-ci à 50 atmosphères et de fournir, à cette pression, 708 litres par minute. Ces pompes sont actionnées par deux machines horizontales à haute pression et à détente, d'une force totale de 75 chevaux effectifs, pouvant travailler ensemble ou séparément. Les chaudières, au nombre de deux, sont de forme cylindrique, tubulaires, à foyer extérieur. L'eau nécessaire à l'alimentation des chaudières et des pompes foulantes est élevée, par une pompe élévatoire à double action, dans un réservoir en tôle d'une capacité de 25 490 litres, placé dans le bâtiment des machines.

La canalisation générale comprend, outre les conduites de distribution de l'eau sous pression, une série de tuyaux ramenant l'eau utilisée vers le puits de la pompe élévatoire; elle dessert 21 grues, calculées pour élever une charge de 1000 kilogrammes à une hauteur de 4 mètres, la volée étant de 4<sup>m</sup>,65 et l'amplitude de la rotation de  $\frac{3}{4}$  de tour; 15 grues semblables, calculées pour une charge de 1500 kilogrammes, 3 de 2000, 4 de 5000, et 1 de 10000 kilogrammes.

Pour les grues de 1000, de 1500 et de 2000 kilogrammes (Pl. XXXIII, fig. 1), le levage s'opère à l'aide d'un cylindre dans lequel se meut un piston plongeur, armé de poulies formant mouffles; la chaîne est fixe à l'une de ses extrémités, et elle passe sur une série de poulies placées sur la volée. En ouvrant la soupape d'admission de l'eau sous pression, la chaîne monte et, comme le cylindre est incliné, le piston, aidé d'un faible contre-poids, descend dès qu'on ouvre la soupape d'exhaustion.

Dans les grues de 5000 et de 10 000 kilogrammes, le cylindre est horizontal, et il existe en prolongement du plongeur un petit piston à pression constante, qui produit le retour de ce dernier, dès qu'on ouvre la soupape d'exhaustion.

Le mouvement d'orientation de tous ces appareils s'obtient au moyen de machines à deux cylindres, dont les pistons plongeurs portent à leur extrémité une poulie verticale à moufle; la chaîne de cette poulie est fixée à chacune



des extrémités, et embrasse une poulie horizontale calée sur le pivot de la grue.

Outre les engins que nous venons de mentionner, on compte, à la gare d'Anvers-Bassins, 25 cabestans à un seul arbre, calculés pour exercer, suivant le câble, un effort de traction de 408 kilogr., à la vitesse de 61 mètres par minute. Ces appareils sont actionnés par des machines hydrauliques à deux cylindres oscillants, la distribution se faisant à l'aide de tiroirs. (Pl. XXXII, fig. 6).

A l'entrepôt des bassins, il existe un accumulateur spécial avec une machine d'alimentation de 75 chevaux de force. Il sert à fournir l'eau sous pression pour le fonctionnement des grues-appliques et des ascenseurs.

Les nouveaux quais d'Anvers viennent d'être pourvus également d'un outillage hydraulique du système Armstrong.

Le bâtiment des machines et des accumulateurs est établi près des bassins de batelage du sud; les machines, au nombre de deux, ont une puissance totale de 400 chevaux. La canalisation est placée actuellement autour du bassin de batelage et le long de la première section des quais. Cette section est desservie par 22 grues hydrauliques roulantes et par 9 cabestans.

Les grues roulantes ont une force de 1500 kilogr. chacune, elles sont construites de façon à ce que la partie supérieure du bâti passe au-dessus des wagons installés sur la voie ferrée qui longe immédiatement les tablettes du mur de quai. (Pl. XXXIII, fig. 2).

Les cabestans servent à déplacer les grues et à manœuvrer les wagons; ils sont calculés pour un effort de 1 tonne et sont mus par une machine à trois cylindres convergents<sup>(1)</sup>.

Nous terminons ici la description sommaire des installations hydrauliques du port d'Anvers, n'ayant eu d'autre but que de donner une idée générale de l'application que l'on fait aujourd'hui, dans les ports bien outillés, des machines à eau, sous pression, pour opérer avec célérité les chargements et les déchargements des marchandises, la manœuvre des ponts et des portes d'écluses des bassins, etc.

On trouvera des renseignements détaillés sur la machinerie hydraulique dans le mémoire publié, en 1870, par M. Barret, Ingénieur de la compagnie des Docks de Marseille, et dans un ouvrage récent de M. Plocq, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées, et de M. Laroche, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, intitulé : *Exploitation des ports. Etude sur les principaux ports de commerce de l'Europe septentrionale*.

Mais, ainsi que MM. Plocq et Laroche le font remarquer, les indications

<sup>(1)</sup> La plupart de ces renseignements sont empruntés à la publication *Aperçu sur les installations maritimes du port d'Anvers*, déjà cité, ou nous ont été obligeamment fournis par M. l'Ingénieur A. Royers.



contenues dans ces traités, ne doivent encore être considérées que comme des données générales. Chaque jour, en effet, les engins hydrauliques subissent des perfectionnements, et il importe que l'ingénieur, chargé de l'étude d'un projet d'installations de l'espèce, aille visiter, dans les divers ports, les appareils les plus nouveaux, en choisissant pour types ceux qui lui paraissent devoir donner les meilleurs résultats pour le cas dont il a à s'occuper.

---



# MOUVEMENT DU PORT D'ANVERS.

Tableau comparatif sommaire des arrivages de navires de mer au port d'Anvers depuis 1874.

ANNÉES.	NAVIRES A VOILES.		BATEAUX A VAPEUR.		TOTAUX.		Tonnage par navire.
	Nombre	Tonnage	Nombre	Tonnage	Nombre	Tonnage	
1874	1929	614,433	2618	1,519,729	4547	2,134,162	469
1875	1634	532,682	2717	1,632,734	4351	2,185,416	502
1876	1534	546,978	3016	1,980,719	4550	2,527,697	556
1877	1532	558,261	2925	1,941,221	4457	2,499,482	561
1878	1538	610,582	3045	2,169,374	4583	2,779,956	607
1879	1356	620,290	2892	2,287,721	4248	2,908,011	685
1880	1468	612,991	3158	2,504,763	4626	3,117,754	674
1881	1147	515,287	2963	2,423,194	4110	2,938,481	715
1882	1149	507,772	3292	2,945,522	4441	3,453,294	778
1883	989	417,860	3700	3,440,074	4689	3,857,934	823

Nombre et tonnage des navires de mer arrivés au port d'Anvers pendant l'année 1883.

MOIS.	NAVIRES A VOILES.		BATEAUX A VAPEUR.		TOTAUX.	
	Nombre	Tonneaux	Nombre	Tonneaux	Nombre	Tonneaux
Janvier . . . . .	42	18,106	284	265,449	326	283,555
Février . . . . .	38	18,884	246	212,259	284	231,143
Mars . . . . .	73	25,807	305	270,269	378	296,070
Avril . . . . .	106	44,942	316	303,302	422	348,244
Mai . . . . .	64	25,869	338	327,407	402	353,276
Juin. . . . .	116	50,074	311	292,248	427	342,322
Juillet . . . . .	117	50,141	302	276,501	419	326,642
Août . . . . .	89	34,188	322	299,753	411	333,941
Septembre . . . .	112	48,674	332	324,229	444	372,903
Octobre . . . . .	82	32,714	344	327,893	426	360,607
Novembre . . . . .	91	43,492	293	269,434	384	312,926
Décembre . . . . .	59	24,969	307	271,330	366	296,299
Totaux. . . . .	989	417,860	3700	3,440,074	4689	3,857,934

Tonnage moyen  $\left\{ \begin{array}{l} \text{des navires à voiles: 423.} \\ \text{des bateaux à vapeur: 930.} \\ \text{du total} \quad \quad \quad : 823. \end{array} \right.$



CLASSIFICATION DES NAVIRES DE MER ARRIVÉS A ANVERS PENDANT L'ANNÉE 1883.

TONNAGE.				NAVIRES A VOILES.	BATEAUX A VAPEUR.	TOTAUX.	TONNAGE.				NAVIRES A VOILES.	BATEAUX A VAPEUR.	TOTAUX.		
De	50	tonneaux et au-dessus		2	—	2	De	1901	à	2000	tonneaux	Report.	987	3253	4240
	51	à	100	tonneaux	83	90	173		2001	»	2100	»	—	67	67
	101	»	150	»	222	228	450		2101	»	2200	»	—	54	54
	151	»	200	»	109	139	248		2201	»	2300	»	—	49	49
	201	»	250	»	62	52	114		2301	»	2400	»	—	41	41
	251	»	300	»	57	102	159		2401	»	2500	»	—	23	23
	301	»	400	»	122	267	389		2501	»	2600	»	—	13	13
	401	»	500	»	71	334	405		2601	»	2700	»	—	20	20
	501	»	600	»	42	483	525		2701	»	2800	»	—	22	22
	601	»	700	»	25	198	223		2801	»	2900	»	—	20	20
	701	»	800	»	19	247	266		2901	»	3000	»	—	17	17
	801	»	900	»	18	139	157		3001	»	3100	»	—	5	5
	901	»	1000	»	28	185	213		3101	»	3200	»	—	19	19
	1001	»	1100	»	17	105	122		3201	»	3300	»	—	5	5
	1101	»	1200	»	44	143	187		3301	»	3400	»	—	2	2
	1201	»	1300	»	27	75	102		3401	»	3500	»	—	4	4
	1301	»	1400	»	19	90	109		3501	»	3600	»	—	2	2
	1401	»	1500	»	6	89	95		3601	»	3700	»	—	8	8
	1501	»	1600	»	5	52	57		3701	»	3800	»	—	16	16
	1601	»	1700	»	4	77	81		3801	»	3900	»	1	4	5
	1701	»	1800	»	3	93	96		3901	»	4000	»	—	4	4
	1801	»	1900	»	2	65	67		4801	»	4900	»	—	2	2
A reporter.				987	3253	4240	Totaux.				989	3700	4689		



PORT D'ANVERS. — ANNÉE 1883.

Tableau des arrivages par catégorie de tirant d'eau.

Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de		Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de		Tirant d'eau en décimètres.	Nombre de	
	steamers	voiliers		steamers	voiliers		steamers	voiliers
			REPORT.	1019	685		REPORT.	3039 1128
15	»	9	41	141	23	67	25	9
16	»	4	42	92	14	68	21	10
17	»	2	43	134	29	69	24	6
18	»	4	44	113	22	70	11	6
19	»	4	45	107	13	71	20	1
20	»	4	46	137	20	72	13	1
21	1	7	47	111	16	73	18	1
22	»	6	48	95	23	74	5	»
23	1	4	49	120	19	75	7	1
24	1	9	50	86	21	76	4	2
25	18	9	51	92	19	77	4	»
26	31	4	52	90	21	78	2	»
27	31	13	53	88	14	79	2	1
28	72	20	54	50	15	80	»	1
29	67	23	55	55	11	TOTAUX.	3195	1167
30	47	50	56	74	24			
31	43	67	57	54	9			
32	33	52	58	44	13			
33	48	51	59	53	15			
34	72	87	60	49	10			
35	98	88	61	37	12			
36	103	45	62	30	21			
37	114	52	63	38	17			
38	108	26	64	43	15			
39	65	21	65	49	20			
40	66	24	66	38	7			
A REPORTER	1019	685	A REPORTER.	3039	1128			



TABLEAU DE LA FLOTTE DE LA « RED STAR LINE ».

NOMS des BATIMENTS.	Longueur totale.	Longueur entre perpendic.	Largeur.	Creux.	Tonnage brut.	Tonnage net.	Tirant d'eau en charge.	Système de machine.	Puissance indiquée.	Diamètre du cylindre à haute pression.	Diamètre du cylindre à basse pression.	Course commune.	Pression.	Diamètre de l'hélice.	Pas.	Nombre de tours.	Vitesse aux essais	Nombre de passagers de 1 <sup>re</sup> classe.	Nombre de passagers de 2 <sup>e</sup> classe.	Nombre d'émigrants.	Puissance nominale.
		Pieds	Pieds	Pieds			Pieds	Compound à deux cylindres côte à côte.	Ch.	Pouces	Pouces	Pouces	Livres								
Vaderland .		320 <sup>6</sup> / <sub>10</sub>	38 <sup>6</sup> / <sub>10</sub>	30 <sup>9</sup> / <sub>10</sub>	2748,47	2001,13			1300	40	80	42	75	17-6	22-6						265
Switzerland.		329 <sup>2</sup> / <sub>10</sub>	38 <sup>6</sup> / <sub>10</sub>	30 <sup>5</sup> / <sub>10</sub>	2838,54	1819,35			1300	40	80	42	75								265
Nederland .		id.	id.	id.	id.	id.			id.	id.	id.	id.	id.								265
Zeeland . .	362	337	42 <sup>9</sup> / <sub>10</sub>		2696	1830	25		1400	48	86	42	80	18-6	22-6	52	11	20	0	700	323
Belgenland .	416	400	40 <sup>2</sup> / <sub>10</sub>	30 <sup>6</sup> / <sub>10</sub>	3691	2364	25		2500	50	90	54	80	18	25-2	60	13	84	62	800	353
Rhynland .	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.		id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.	id.
Waesland .	435	411	43	37	4752	3053	25		2400	48	86	54	80	18	24	58	13	13	35	1200	323
Pennland. .		363 <sup>8</sup> / <sub>10</sub>	42 <sup>5</sup> / <sub>10</sub>	34 <sup>5</sup> / <sub>10</sub>	3759	2511	26		2000	48	84	54	80		23-6			120	110	1000	312
Westerland .	458	440	47	35 <sup>2</sup> / <sub>10</sub>	5260		26		3750	52	93	66	90	20		55					380
Noordland .		400	47	35 <sup>1</sup> / <sub>40</sub>	4850		26			48	85	60									317

N. B. Le pied anglais vaut 0<sup>m</sup>,3048.



## ANNEXE II.

### CONSTRUCTION DES MOLES.

---

Les môles ou jetées pleines peuvent se rattacher à trois types distincts : les môles construits entièrement à pierres sèches ou à long talus, tels que le breakwater de Plymouth ; les môles en maçonnerie ou à talus presque vertical, comme celui de Douvres ; et les môles formés d'une fondation en enrochements, surmontée d'une muraille en maçonnerie, comme à Cherbourg. (Pl. XXX).

Le massif sous-marin de la digue de Cherbourg est formé de blocs et de moëllons d'assez faibles dimensions, provenant des montagnes des environs ; il est défendu, du côté du large, au moyen de blocs de grandes dimensions. Comme le transport des pierres d'enrochement vers l'emplacement de la digue isolée était fort coûteux, on a cherché à réduire le profil transversal de celle-ci le plus possible ; le sommet des enrochements ne dépasse guère le pied de la muraille de couronnement, et correspond généralement au niveau des basses mers de morte eau.

Le môle de Portland est formé de matériaux de toute grosseur, tels que les carrières les fournissent, et qui sont établis sous le talus que la mer leur a naturellement imprimé ; l'inclinaison du talus extérieur n'est que de 8 pour 1 depuis le sommet jusqu'à la laisse des plus basses mers. Le massif d'enrochements, au lieu de s'arrêter au niveau de celles-ci, comme à Cherbourg, dépasse même la haute mer de vive eau et protège, sur une certaine hauteur, le mur d'abri dont il est surmonté.

Des jetées en enrochements, comme celles de Portland, présentent, comme principal inconvénient, le peu de stabilité du talus extérieur ; les blocs qui ne se trouvent pas à plus de 5 mètres de profondeur sous le niveau des basses mers, sont constamment remués par le choc des lames, malgré l'inclinaison très-faible sous laquelle ils sont placés. Au môle de Plymouth, qui est construit en pierres calcaires provenant des carrières d'Oreston, sur la côte est du Catwater, les blocs pèsent de 1500 à 2000 kilogrammes, et plus, et le talus extérieur est



placé sous une inclinaison qui descend jusqu'à 10 pour 1. Afin de donner à ce dernier plus de stabilité, on l'a recouvert de pierres ayant 1<sup>m</sup>,20 de longueur, 1 mètre de largeur et 0<sup>m</sup>,80 d'épaisseur, et dont les joints sont garnis avec du ciment Parker.

Au breakwater de la Delaware, on a employé, pour la défense des talus, des blocs de 4000 à 5000 kilogrammes, rangés régulièrement et placés en boutisses.

Ce sont les avaries continuelles auxquelles les môles en pierres perdues sont exposés, qui ont décidé la commission chargée, en 1846, de l'étude du port de Douvres, à proposer pour les môles de l'enceinte de ce port, une muraille à parois presque verticales. Ce système a été suivi pour la partie exécutée, appelée jetée de l'Amirauté. Il y convenait aussi pour cette autre considération, qu'on ne trouve dans le voisinage de Douvres aucune source de matériaux; les carrières les plus proches se trouvent éloignées de plus de 500 kilomètres, et il fallait par conséquent réduire, autant que possible, le cube de pierres à mettre en œuvre.

La jetée de l'Amirauté se compose d'assises horizontales de blocs, depuis le fond de la mer jusqu'au niveau des marées hautes de morte eau; elles sont posées à sec au-dessous de la basse mer de vive eau, et au mortier de ciment de Portland au-dessus de ce plan. Les blocs extérieurs sont en pierres dures naturelles; les blocs intérieurs sont artificiels; le remplissage central, au-dessus de la haute mer de morte eau, est en béton (Pl. XXX, fig. 8). Les parements sont inclinés à  $\frac{1}{4}$ . Le terre-plein des môles a 8<sup>m</sup>,50 de largeur et se trouve à 3<sup>m</sup>,05 au-dessus du niveau des hautes mers de vive eau; il est surmonté, du côté du large, d'un mur d'abri de 3<sup>m</sup>,12 de hauteur.

L'épaisseur des assises en pierres naturelles est de 0<sup>m</sup>,53 au sommet; elle augmente à mesure qu'on descend, et elle est de 1<sup>m</sup>,14 à la base; les blocs de l'assise inférieure, posés en carreaux, ont 2<sup>m</sup>,13 de longueur sur 1<sup>m</sup>,35 de queue; ceux posés en boutisses ont 1<sup>m</sup>,22 sur 2<sup>m</sup>,00; leur volume est en moyenne de 3 mètres cubes. Au-dessous de la basse mer de vive eau, tous les blocs ont été arrimés et mis en place à l'aide de cloches à plongeur.

Les jetées en maçonnerie, à parois presque verticales, présentent aussi de graves inconvénients. D'abord, elles sont d'une construction fort difficile. Pour asseoir la muraille sur le sol, il faut préalablement niveler celui-ci avec soin au moyen du scaphandre, lorsqu'on se trouve en présence du roc; quand on fonde sur le sable, il faut préparer une base en enrochements, arasée convenablement à la surface supérieure. La pose des blocs n'est pas moins compliquée, et elle ne peut se faire que par beau temps; quand il survient des tempêtes, les passerelles de service, installées



pour le transport des pierres, sont souvent enlevées, et les blocs non cramponnés encore les uns aux autres, sont déplacés et entraînés par la mer. C'est ainsi que la construction de la jetée de Douvres n'a avancé que de 30 à 35 mètres par an, malgré les puissants moyens dont on disposait pour son exécution, et elle a coûté près de 30000 fr. le mètre courant. Ce prix est très-élevé, comparativement à celui des digues en enrochements; le môle de Cherbourg, établi par des fonds de 12<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers, n'a donné lieu qu'à une dépense de 18000 fr. le mètre courant; celui de Portland, fondé par des profondeurs de 16 mètres, est estimé à 12000 francs le mètre courant. On voit que l'économie provenant de la section réduite de la jetée de l'Amirauté, a été loin de racheter l'augmentation de dépenses, occasionnée par les difficultés d'exécution.

Sous le rapport de la stabilité et du maintien de l'ouvrage, remarquons que, quelque soin que l'on apporte dans la pose des assises, il est fort difficile de prévenir, pendant la construction du môle, la formation d'interstices entre les blocs, surtout lorsque le sol est formé de sable, et sujet à subir des tassements; et quand, par suite des pressions que l'eau exerce dans ces vides, il se produit un dérangement dans quelque partie de la digue, les avaries qui en résultent pendant les tempêtes, peuvent prendre des proportions effrayantes, ce qui n'est pas le cas pour des massifs à pierres perdues.

Au port d'Ymuiden, les jetées consistent également en des murailles, formées de gros blocs artificiels au ciment de Portland, et dont les parements présentent  $\frac{1}{7}$  de fruit.

Elles reposent sur une large couche d'enrochements en basalte, de 1 mètre au moins d'épaisseur. Les blocs de l'assise inférieure sont entourés, sur toute la hauteur de celle-ci, par ces enrochements, qui se raccordent avec le fond de la mer sous des talus ayant une inclinaison minimum de 2 pour 1.

Avant de commencer la maçonnerie du corps des jetées, on a eu soin de laisser la couche en basalte exposée pendant un an à l'action des courants et des vagues, de manière à ce que les pierres en fussent tassées les unes contre les autres, et que les interstices eussent eu le temps de se remplir de sable et de coquillages.

Le couronnement des jetées avait été établi d'abord à 2<sup>m</sup>,80 au-dessus de AP, soit à 2<sup>m</sup>,00 environ au-dessus des hautes mers; il était surmonté d'un parapet en maçonnerie, dont le sommet se trouvait à + 4<sup>m</sup>,10 par rapport à AP. Mais ce parapet n'offrait pas un abri suffisant et ne résistait pas aux efforts des lames de tempête. Finalement on a exhaussé les jetées jusqu'à la cote + 4<sup>m</sup>,10, au moyen de béton, placé suivant une masse uniforme et compacte, et dont la



la face supérieure est légèrement inclinée du large vers l'avant-port; aux musoirs, ce monolithe de béton présente une surélévation de 1 mètre.

La largeur du terre-plein des môles va en augmentant de 6<sup>m</sup>,10 à 8<sup>m</sup>,20, à partir de leur origine jusqu'aux têtes.

Les blocs en béton employés cubent jusqu'à 5 mètres et pèsent 10 tonnes chacun; ils ont, en moyenne, 1<sup>m</sup>,22 de largeur, 1<sup>m</sup>,32 de hauteur et 3<sup>m</sup>,10 de longueur. Cette dernière dimension varie avec l'épaisseur des jetées, et elle est déterminée de façon à donner une bonne disposition aux joints. Pour les blocs mis en œuvre dans les parements, le béton se compose de 1 partie de ciment de Portland, de 3 parties de gros sable de rivière et de 5 parties de gravier; pour ceux formant le noyau et qui pouvaient avoir moins de poids, le gravier a été remplacé par de la brique concassée. Les blocs placés au-dessus du niveau des basses mers ont des dimensions plus fortes, et sont maçonnés au mortier de ciment de Portland, composé de 1 partie de ciment et de 2 parties de sable de rivière. <sup>(1)</sup>

Au début des travaux, les blocs étaient moins pesants et la proportion de ciment plus faible; afin d'augmenter encore leur résistance, on les a reliés par des crampons et des tirants. On a reconnu aussi, à Ymuiden, que l'emploi de sable des dunes ne convient pas pour la composition du béton, qui doit supporter l'action des vagues et de grandes pressions. Le sable des dunes est trop fin pour qu'il soit possible de le mélanger intimement avec le ciment, condition indispensable pour avoir des massifs assez résistants.

Les blocs ont été descendus sous l'eau à l'aide de grandes grues à vapeur, dont le bras s'étendait jusqu'à 12 mètres au delà de l'extrémité des parties des jetées déjà construites; ils étaient ensuite mis en place par des ouvriers, qui, pour les parties situées au-dessous du niveau des basses mers, étaient revêtus de scaphandres.

Nonobstant toutes les précautions qu'on ait pu prendre, les jetées d'Ymuiden, celle du nord surtout, ont subi de fortes dégradations. Sur plusieurs points, les blocs ont été dérangés; sur d'autres, il s'est produit des tassements et des crevasses qui menaçaient la stabilité de l'ouvrage. Pour remédier à cet inconvénient, on a dû défendre les murailles, du côté de la mer, au moyen de fortes bermes en blocs artificiels. Ceux qui forment talus pèsent 10 000 ou 20 000 kilogrammes, suivant qu'ils sont placés au-dessous ou au-dessus de AP, et ils entourent des blocs de dimensions moindres constituant le noyau. Les bermes présentent un talus de 1 pour 1, et ont une largeur d'environ 4<sup>m</sup>,40 à la partie

<sup>(1)</sup> J. F. W. Conrad, ouvrage cité.



supérieure, laquelle se trouve à 2<sup>m</sup>,50 + AP. Elles sont établies le long de la jetée nord, à partir de 650 mètres du pied de la dune, et le long de la jetée sud, à partir de 750 mètres de la même ligne.

Depuis l'achèvement des bermes, il n'est plus survenu de dégâts importants aux jetées; mais ce travail de consolidation a coûté fort cher et il a absorbé l'économie que l'on avait compté réaliser par l'adoption de môles en maçonnerie et à parois presque verticales.

Les jetées formées d'un massif sous-marin en enrochements et surmontées d'une muraille en maçonnerie, semblent en définitive offrir le plus d'avantage, surtout lorsque les pierres d'enrochement sont composées de blocs proportionnés aux efforts qu'ils ont à supporter, et qui dépendent de la profondeur à laquelle ils sont coulés sous le niveau des basses mers. Citons comme exemples les nouvelles digues d'Alger et de Marseille et celles du nouveau port de Boulogne.

A Alger, le noyau des môles est formé d'enrochements naturels, depuis le fond jusqu'à 8 mètres sous le niveau de basse mer du côté du port, et jusqu'à 12 mètres seulement sous ce même niveau du côté du large. Le talus extérieur et la partie supérieure du môle, qui subissent plus particulièrement l'action destructive des lames, sont formés de blocs artificiels, d'une dimension telle qu'ils ne peuvent être déplacés par les plus fortes vagues de tempête. Ces blocs n'ont pas moins de 15 à 20 mètres cubes, et sont disposés suivant un talus incliné à raison de 5 sur 4. Le corps de la digue est surmonté d'une muraille en béton ayant 8<sup>m</sup>,50 de largeur.

Les jetées de Port-Saïd sont construites entièrement en gros blocs artificiels; ce système s'explique par l'absence, en cet endroit, de pierres de toute nature, mais il ne serait pas à conseiller dans les conditions ordinaires. Les gros blocs donnent en effet plus de vides, et ils peuvent être brisés et ensuite déplacés, ce qui expose le môle à de graves avaries par les gros temps.

A Marseille, la grande jetée couvrant le bassin Napoléon, est composée de blocs naturels provenant des îles Frioul, situées à 5 kilomètres du port. (Pl. XXX, fig. 5). Ces blocs sont classés, d'après leur poids, en quatre catégories; ceux employés dans le noyau intérieur, depuis le fond jusqu'à 10 mètres sous le niveau de la mer, ne pèsent que 2 à 100 kilogrammes; ils sont entourés par d'autres pierres pesant de 100 à 1300, et de 1300 à 3900 kilogrammes, couvertes elles-mêmes par des blocs pesant 3900 kilogrammes et au delà.

Du côté du large, et à partir d'une profondeur de 8 mètres, le talus extérieur est protégé par des blocs artificiels ayant 3<sup>m</sup>,40 sur 2<sup>m</sup>,00 et 1<sup>m</sup>,50 et mesurant, par conséquent, 10 mètres cubes, volume suffisant pour l'agitation qui



se produit dans la rade de Marseille. Les fondations des murs de quai terminant la digue à l'intérieur, sont construites également en blocs artificiels, placés en parpaing à joints contrariés et sur une hauteur de 6 mètres sous le niveau des eaux. Le môle du bassin Napoléon, dans un fond de 17 mètres de profondeur moyenne et avec un quai de 30 mètres de largeur, a coûté 9000 fr. le mètre courant.

Les môles du nouveau port de Boulogne sont formés d'un massif en enrochement, présentant un mode de construction analogue à celui de la digue de Marseille, et d'une muraille en maçonnerie, dont la base est placée au niveau des basses mers de morte eau et qui s'élève à 2<sup>m</sup>,00 au-dessus des hautes mers moyennes de vive eau.

La fig. 7, pl. XXX représente le profil moyen du môle sud-ouest, depuis un point commençant à 1110 mètres et se terminant à 1350 mètres du pied des falaises. Le massif sous-marin a 16<sup>m</sup>,40 de largeur en couronne, 8<sup>m</sup>,00 de hauteur et 36<sup>m</sup>,40 de largeur à la base; le noyau se compose de pierres d'enrochement, pesant de 200 à 1000 kilogrammes, et est entouré d'une forte couche de gros enrochements pesant de 1000 à 10 000 kilogrammes. Ces matériaux proviennent de carrières ouvertes sur la côte ou dans les environs de Boulogne et de Marquise.

Du côté du large, la digue est défendue à l'aide de gros blocs artificiels, construits en maçonnerie de moëllons au mortier de ciment de Portland; les blocs ont la forme d'un parallépipède rectangle de 4<sup>m</sup>,00 de longueur, 2<sup>m</sup>,00 de largeur et 1<sup>m</sup>,75 de hauteur. Le massif en enrochements est surmonté d'une muraille en maçonnerie de moëllons au mortier de ciment de Portland, de 5<sup>m</sup>,00 de largeur en couronne, avec un fruit de  $\frac{12}{100}$  sur les deux faces, 8<sup>m</sup>,26 de hauteur et 7<sup>m</sup>,00 de largeur à la base; le parapet dont cette muraille est munie, a une largeur de 2<sup>m</sup>,00 au sommet et de 2<sup>m</sup>,50 à la base, sur 1<sup>m</sup>,40 de hauteur.

Les parties des môles qui se trouvent plus près de la côte, ont des dimensions moindres et le talus extérieur du massif sous-marin y est défendu à l'aide de blocs naturels pesant plus de 10 000 kilogrammes.

Pour des jetées composées d'une fondation en enrochements et d'une superstructure en maçonnerie, comme celle du port de Boulogne, il faut avoir soin de donner au massif d'enrochements une largeur suffisante et lui laisser le temps de bien se tasser sous l'action de la mer, avant d'y élever la muraille; il importe surtout que l'assiette de fondation soit convenablement arasée, soit au moyen de moëllons, soit au moyen de sacs à béton.

Les sacs à béton ont été employés, sur une grande échelle, par M. l'Ingénieur



Cay, pour les fondations des jetées d'Aberdeen, en Ecosse <sup>(1)</sup>; ils mesuraient environ 20 mètres cubes, et ces dimensions ont encore été notablement augmentées par la suite. Pour les couler, M. Cay s'est servi d'un ponton portant en son milieu une caisse rectangulaire, fermée inférieurement à l'aide d'un clapet et dans lequel on place le sac. Ce dernier est en très-grosse toile, et rempli de béton fraîchement confectionné. Lorsque le ponton est conduit à l'emplacement voulu, on ouvre le clapet et le sac tombe sur ceux déjà immergés, en se moulant plus ou moins bien sur la surface qui lui sert d'assiette.

---

<sup>(1)</sup> Stœklin et Laroche, ouvrage cité.



### ANNEXE III.

#### CONCLUSIONS DE LA COMMISSION INSTITUÉE EN 1884 PAR L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE LA VILLE DE BRUGES,

A L'EFFET D'ÉTUDIER, AU POINT DE VUE DES ENSABLEMENTS ET DES ENVASEMENTS, LE PROJET  
D'ÉTABLISSEMENT D'UN PORT A HEYST, PRÉSENTÉ PAR M. DE MAERE.

---

L'opinion de la majorité de la commission de 1878 <sup>(1)</sup> sur la question de l'envasement intérieur du port projeté par M. de Maere, avait été résumée, à la fin des discussions, dans les termes suivants, par M. l'Inspecteur Général Lamal : « La surface elliptique qui doit être maintenue, dans l'avant-port, à la profondeur de 7<sup>m</sup>,00 sous basse mer, y compris le chenal d'accès à l'écluse, a une superficie de 132 hectares. (La commission avait reconnu nécessaire, au point de vue nautique, de donner à l'enceinte une étendue d'environ 1600 mètres, mesurée perpendiculairement à la côte).

« J'admets, pour l'épaisseur de la couche annuelle des apports, le chiffre de 1<sup>m</sup>,30, qui a été proposé par M. Piens; ainsi que je l'ai déjà dit, cette évaluation est fort modérée, car, en l'établissant, on s'est basé en partie sur l'importance de l'envasement constaté à Ymuiden, où les circonstances hydrographiques et surtout le degré de limpidité des eaux, sont beaucoup plus favorables; le chiffre de 1<sup>m</sup>,45, déduit des faits constatés sur notre propre côte, se rapprocherait certainement davantage de la vérité.

« Avec le chiffre de 1<sup>m</sup>,30 on obtient 1716 000 mètres cubes de dépôts par an, mesurés en profil.

« En employant les dragues les plus puissantes et les mieux perfectionnées qui soient connues de nos jours, on peut admettre, pour chacun de ces engins,

<sup>(1)</sup> La commission instituée par arrêté ministériel du 10 octobre 1878, pour examiner le projet de M. de Maere, était composée comme suit, lorsqu'elle formula ses conclusions : M. le Baron de Vrière, Ministre d'Etat, Président; MM. Visart, Bourgmestre de la ville de Bruges et Membre de la Chambre des Représentants; Van Nieuwenhuyse, Président de l'Union Syndicale de l'arrondissement de Bruges; de Maere-Limnander, ancien Membre de la Chambre des Représentants; Michel, Inspecteur Général de la Marine; Lamal, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées; Symon, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées; Piens, Ingénieur en Chef Directeur des Ponts et Chaussées dans la province de la Flandre occidentale; Troost, Ingénieur en Chef Directeur des Ponts et Chaussées, chargé du service spécial de l'Escaut, membres; M. De Mey, Ingénieur des Ponts et Chaussées, secrétaire-rapporteur.



250 jours de travail par an, en tenant compte des jours de fête, du mauvais temps, des chômages pour cause de réparation, etc., ce qui donne, à raison de 1000 m<sup>3</sup> de matières draguées par jour et mesurées dans les chalands, 250 000 m<sup>3</sup> cubes par an.

« Si l'on néglige le cube, fort important comme on sait, dont il faut majorer le volume des déblais évalué en profil, pour avoir celui donné par les chalands, il faudrait sept bateaux-dragueurs, travaillant en permanence, pour combattre les apports de vase, soit un bateau-dragueur pour 19 hectares.

« La présence d'un si grand nombre de dragues causerait tout d'abord une forte entrave pour la navigation.

« Vient maintenant la question de dépense.

« En examinant avec attention les cartes marines, on constate, ainsi que M. Michel le confirmera, que, pour éviter tout effet nuisible des matières déversées en mer sur la situation de la passe de Wielingen et sur le port projeté lui-même, il serait absolument nécessaire de transporter le produit des dragages à une distance d'environ 9 milles marins ou 16 kilomètres de la côte.

« Or, on paie actuellement à Ymuiden, où les dragages proprement dits s'effectuent dans des conditions très-semblables à celles qu'il y aurait à faire au port de Heyst, et ce après une longue pratique, le prix de 1.06 fr. par mètre cube de déblais *mesurés dans les bateaux* et transportés à 4000 mètres en mer seulement.

« Pour estimer, d'après ce prix, les dragages dont nous nous occupons, on devrait commencer par majorer le cube mesuré en profil dans une forte proportion, comme je l'ai dit tantôt. A Ymuiden, cette proportion était, l'année dernière, d'après les renseignements du secrétaire, de 225 à 400, soit près du double; d'après M. de Maere, la majoration du cube des matières extraites donné par les bateaux, ne serait que d'un tiers avec les dragues les mieux perfectionnées, mais cette proportion me semble trop faible.

« Quoi qu'il en soit, je n'en tiendrai pas autrement compte qu'en admettant 1<sup>re</sup>,75 pour le prix du mètre cube, y compris le transport énorme et même difficile, en temps de houle, des matières draguées à 16 kilomètres de la côte. Personne sans doute ne contestera l'extrême modération de ce prix. En le fixant, j'ai fait une large part aux avantages qui pourront résulter, dans l'avenir, du perfectionnement des appareils de dragage, ainsi que de l'installation d'un outillage spécial pour le transport économique en mer des matières extraites; sans ces conditions, le nombre de dragues à employer et le prix du mètre cube de matières enlevées seraient évidemment plus grands.



« Or, ce prix de 1<sup>r</sup>,75 donne pour coût annuel des dragages d'entretien du port projeté, la somme de 3 millions de francs en chiffres ronds. »

La conclusion concernant la question de l'entretien d'une enceinte ayant la surface précitée, était formulée comme suit :

« La commission :

« Se basant sur les faits observés le long de la côte belge en ce qui concerne les envasements produits par les eaux de la mer ;

« Considérant que la profondeur projetée pour le port de Heyst à 7<sup>m</sup>,00 sous marée basse, donnerait lieu à des dépôts beaucoup plus grands que ceux que l'on constate dans les ports de Blankenberghe et d'Ostende ;

« Estime :

« 1° Que la navigation serait fortement entravée par le grand nombre de dragueurs qu'ils faudrait employer d'une manière permanente dans le port et le chenal d'accès à l'écluse, pour les maintenir à la profondeur prévue ;

« 2° Que les dragages à l'intérieur du port et dans le chenal d'accès exigeraient une dépense considérable, que l'on ne peut pas évaluer à moins de 3 millions de francs par an. »

Cette conclusion fut adoptée par 5 voix : celles de MM. Michel, Lamal, Symon, Troost et Piens, contre 3, celles de MM. Visart, Van Nieuwenhuyse et de Maere. M. le Président s'abstint, se déclarant incompétent dans la question technique relative aux dragages.

A la suite de ce vote, M. de Maere proposa de n'entretenir dans l'enceinte qu'une passe centrale de 250 mètres de largeur, et d'avoir recours à des dragues avec tuyaux flottants qui déverseraient les déblais immédiatement au delà des jetées.

L'avis de la majorité de la commission sur le projet ainsi modifié fut résumé comme suit, par M. Lamal, et des conclusions furent votées en ce sens :

« Le système des dragues avec tuyaux flottants n'est pas applicable dans le cas actuel ; l'emploi de ces engins exige une eau tranquille et ne peut convenir pour des dragages à exécuter à la mer.

« Quant à l'idée de déverser les vases immédiatement au delà des jetées, elle n'est pas admissible et n'a jamais été mise en pratique sur des côtes semblables à la nôtre. A Ymuiden, où le port est précédé d'un talus sous-marin fortement incliné et où les fonds atteignent rapidement 15 à 20 mètres de profondeur sous la mer basse, on a dû cesser le déversement à 3000 mètres de la dune, à cause des dangers que l'on prévoyait pour l'entrée du port, par suite de la formation d'un banc à l'endroit où l'on opérait le dépôt des matières draguées.



« D'un autre côté, la proposition de M. de Maere, de ne maintenir à l'intérieur de l'enceinte qu'une simple passe centrale, constitue une modification notable au projet, car elle supprime le port de refuge; de plus, le chenal, tel qu'il est indiqué par cet honorable membre, présenterait de sérieux inconvénients pour le mouvement des navires, à cause de l'insuffisance de sa longueur et de sa direction en ligne droite par rapport à l'entrée.

« Parlant ensuite des dragages à faire pour l'entretien de cette passe, M. Lamal dit qu'il y aurait à enlever dans celle-ci au moins 1<sup>m</sup>,30 d'envasement annuel et, qu'à cet effet, il faudrait y installer 2 ou 3 dragues en permanence, de sorte que les entraves à résulter de la présence de ces engins pour la navigation, entraves qu'il a signalées lorsqu'on a discuté la question relative au dévasement de l'enceinte elliptique, existeraient encore.

« Quant au coût d'entretien, l'honorable membre rappelle qu'il ne suffirait pas de draguer le chenal, mais qu'il faudrait encore débarrasser les talus et les segments latéraux des apports de vases; qu'en tenant compte de cette circonstance, on arrive à une dépense qui ne serait pas inférieure à 1 750 000 francs par an. Or, si l'on considère que, moyennant ces frais considérables, on ne réalise pas de port de refuge, mais une simple passe, où la navigation serait encore gênée par la présence des dragues nécessaires à son maintien, et qui n'offrirait d'ailleurs aucune qualité nautique favorable, il est certain que la proposition de M. de Maere ne peut être admise. »

La nouvelle commission, instituée par l'administration communale de la ville de Bruges, dans le but d'examiner le projet de M. de Maere, au point de vue des ensablements et des envasements, se réunit en Février 1884; elle était composée comme suit :

MM. BEERNAERT, Membre de la Chambre des Représentants et ancien Ministre des Travaux Publics de Belgique, Président;

BREVET, Ingénieur en Chef du Waterstaat, à Middelbourg (Hollande);

COLSON, Ingénieur et Échevin des Travaux Publics, à Gand;

DARNTON HUTTON, Membre de la société des ingénieurs civils de Londres;

DIRKS, Ingénieur en Chef du Waterstaat et Membre de la deuxième Chambre des Etats Généraux de Hollande;

LAROCHE, Ingénieur en Chef, professeur du cours des travaux maritimes à l'école des Ponts et Chaussées de France;

SCAILQUIN, Membre de la Chambre des Représentants de Belgique; Membres.

VOISIN BEY, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées de France, ancien Directeur Général des travaux du canal maritime de Suez, Membre et Rapporteur.



M. Laroche, s'étant trouvé inopinément dans l'impossibilité de quitter Paris, n'a pu prendre part aux travaux de la commission.

Celle-ci n'eut à s'occuper que du projet modifié, d'après lequel on ne draguerait à l'intérieur de l'enceinte qu'une passe centrale de 250 mètres de largeur, offrant avec le canal d'accès, conduisant à l'écluse de mer, une superficie d'environ 37 hectares. (Pl. XXIX).

Se basant sur l'exemple du port d'Ymuiden, la commission approuva cette disposition au point de vue nautique, et elle ajouta :

« Le port d'Ymuiden, où l'on ne drague à l'intérieur de l'enceinte qu'une passe de 250 mètres de largeur, ainsi que cela est proposé pour Heyst, est un *excellent port de refuge*. L'un des membres de la commission en a cité comme preuve, ce fait, que, le 13 novembre 1880, par une tempête du S.O. et de l'O. qui empêchait le passage par les écluses, quatorze grands navires sont entrés dans le port et se sont amarrés ou ont mouillé, tant dans le canal d'accès que dans le chenal, ou tout près du chenal, dans le voisinage du musoir, sans avoir eu à subir aucuns dommages. Le même membre de la Commission, qui connaît parfaitement le port d'Ymuiden, a exprimé l'opinion, qu'à ses yeux, les sommes que l'on eût consacrées au dragage des segments elliptiques de chaque côté du chenal central, eussent été dépensées en pure perte. L'expérience acquise lui semble démontrer pleinement que l'on se contentera toujours du dragage des 35 hectares actuels. »

Nous devons faire ici une remarque importante : c'est que, indépendamment de cette considération que devant la côte néerlandaise, les vents du S.O. à l'O., ne sont pas les plus dangereux, l'appréciation qui précède, concernant les qualités du port d'Ymuiden comme *port de refuge*, est en contradiction avec ce que nous apprend à ce sujet l'ouvrage de M. J. F. W. Conrad, Inspecteur du Waterstaat hollandais. Dans cet ouvrage, que nous avons cité au chapitre VIII <sup>(1)</sup>, et qui donne l'historique et une description complète du port d'Ymuiden, M. Conrad dit en effet, page 22 : « *niettegenstaande de hoogte der havenhoofden en den golfslechtenden vorm der buitenhaven is de haven van Ymuiden, tijdens stormweder, geene veilige ligplaats voor zeeschepen en zeker niet voor kleine vaartuigen.* » ou, en traduction littérale : « malgré la hauteur des môles et la forme de l'avant-port qui doit favoriser l'épanouissement des lames, le port d'Ymuiden, pendant les tempêtes, n'est pas un mouillage offrant de la sécurité pour les navires de mer, et certainement pas pour les petits navires. »

M. Conrad dit plus loin : « De ervaring heeft geleerd dat de haven van

(1) Voir page 273.



*Ymuiden* slechts mag beschouwd worden als *eene veilige doorvaart* voor de zeeschepen, aan welk doel zij dan ook beantwoordt. »

ou, en traduction littérale : « l'expérience a appris que le *port d'Ymuiden* ne peut être considéré *que comme une passe que les navires peuvent traverser en sécurité*, but auquel il répond. »

La commission aborda aussitôt la question des ensablements et des envasements, pour l'étude de laquelle elle avait été spécialement réunie.

Elle conclut, quant aux ensablements à l'entrée du port projeté, que, suivant toutes les probabilités, leur importance annuelle ne dépasserait pas un cube d'environ 50 000 mètres.

Cette opinion s'écarte peu de celle de la majorité des membres de la commission de 1878; elle est justifiée, dans le rapport de M. Voisin Bey, par des considérations analogues à celles émises par cette dernière, et par la constatation du régime de la plage de Heyst, qui est très-pauvre en sable.

La question de l'importance probable des envasements intérieurs, au contraire, donna lieu à un avis assez différent de celui de la première commission.

Après avoir déclaré que cette question était beaucoup plus délicate à résoudre que la précédente, la commission de 1884, croit que les évaluations de sa devancière sont exagérées, et que, dans la comparaison que celle-ci a faite avec les ports d'Ymuiden, d'Ostende et de Blankenberghe, elle n'a pas tenu compte des deux éléments d'une importance capitale, à savoir : d'une part, la proportion et la nature des matières tenues en suspension dans les eaux de la mer, et d'autre part, le degré de calme ou d'agitation dans chacun des ports considérés.

Voici les considérations développées à ce sujet dans son rapport :

« En ce qui est de la proportion et de la nature des matières tenues en suspension dans l'eau de mer, les renseignements que la Commission avait à sa disposition, quelque nombreux qu'ils soient, n'avaient malheureusement pas un caractère suffisant de précision touchant à la similitude des circonstances dans lesquelles ils ont été recueillis, pour lui permettre d'en faire la base d'une comparaison irréfutable.

« Pour le port d'Ymuiden, par exemple, les renseignements paraissent d'accord pour reconnaître que les eaux y sont généralement plus limpides à la surface que sur le littoral de Heyst, ce qui prouve qu'elles contiennent moins de vases en suspension; mais, par contre, vu la condition fort différente des plages voisines, l'une s'engraissant sans cesse de nouveaux apports de sable, l'autre restant au contraire très-maigre et tendant même de plus en plus à se dénuder, il a paru incontestable à la Commission, qu'indépendamment des sables



lourds soulevés près des ouvrages mêmes du port, et qui forment les bancs de l'entrée, l'eau de mer, dans les gros temps, doit tenir en suspension, tout au moins dans toute la masse de ses couches inférieures, du sable fin mêlé à la vase en quantité notablement plus grande à Ymuiden qu'à Heyst. Ce sont, on le sait, toutes ces matières légères en suspension qui donnent lieu aux dépôts généraux. Or, toutes autres choses supposées égales, l'importance proportionnelle des dépôts doit évidemment varier avec la densité des matières en suspension; et comme, d'après les chiffres consignés dans les tableaux d'observations, la quantité totale des matières en suspension dans l'eau de mer recueillie sur l'un et sur l'autre point ne paraît pas différer notablement, la Commission s'est crue fondée à conclure que les dépôts doivent être proportionnellement plus importants à Ymuiden qu'ils ne le seront dans le port projeté.

« Même en négligeant cette considération si importante de la différence de densité de matières en suspension, la Commission a reconnu à l'unanimité que la règle de trois à établir doit prendre, pour la composition de deux de ses termes, non la hauteur des marées de vives eaux, mais bien la hauteur moyenne des marées, et que le troisième terme doit être la hauteur de l'envasement constaté dans le chenal du port d'Ymuiden, soit 0<sup>m</sup>,64.

« On sait qu'en calculant précisément d'après ces données, M. de Maere a trouvé pour la hauteur de l'envasement annuel à Heyst, ci. . . . 0<sup>m</sup>,76.

« La Commission croit devoir rappeler, tout en mentionnant ce chiffre, que M. de Maere, après l'avoir établi, s'est hâté de le rejeter, précisément par la considération énoncée plus haut « que l'envasement au port de Heyst sera moindre que celui observé à Ymuiden. »

« Pour les ports d'Ostende et de Blankenberghe, plus comparables peut-être au port projeté sous le rapport de la proportion et de la nature des matières tenues en suspension dans l'eau de mer, la dissemblance est au contraire radicale sous le rapport du degré de calme des bassins. Ceux des deux premiers ports, en effet, jouissent d'un calme relatif qui leur fait jouer le rôle d'espèces de bassins de décantation, tandis qu'au contraire il règnera presque constamment dans le port projeté une agitation plus ou moins grande, peu favorable aux dépôts. Aussi, la Commission a-t-elle repoussé, à l'unanimité, la comparaison entre les deux premiers ports et le port projeté, au point de vue de la proportionnalité des dépôts d'après les seules hauteurs relatives de l'eau recouvrant le fond. Elle a pensé que, pour rendre ici la comparaison possible, il fallait absolument tenir très-grand compte du degré relatif de calme dans les bassins respectifs; et il lui a semblé que l'on se rapprocherait beaucoup plus de la réalité des choses, en admettant que les



dépôts dans le port projeté seront proportionnellement moitié moindres, toutes autres choses supposées égales, que dans les deux ports d'Ostende et de Blankenberghe. »

La commission arrive ainsi à conclure que l'épaisseur probable d'envasement ne dépasserait pas 0<sup>m</sup>,85 par an.

L'un de ses membres, pour évaluer l'importance des envasements au port projeté de Heyst, part de ce fait qu'il a établi, à l'aide de quelques données concernant l'envasement des bassins de chasse du port de Breskens, que dans ces bassins les eaux déposent en moyenne  $\frac{1}{50}$  du volume total des matières qu'elles tiennent en suspension. Il admet — faisant ainsi évidemment, suivant lui, la part très-défavorable au port projeté — que les choses s'y passeront de la même manière qu'à Breskens, et il établit alors son calcul sur l'envasement de la manière suivante :

« D'après les renseignements fournis par M. Piens, la quantité moyenne de matières tenues en suspension dans les eaux du littoral de Heyst est de 1.85 pour 1000 dans les temps calmes, et de 10 à 15 fois, en moyenne 12 fois  $\frac{1}{2}$  plus grande, soit de 23 pour 1000, par mer houleuse. D'autre part, d'après des observations faites à Ymuiden pendant 8 ans  $\frac{1}{2}$ , on peut admettre qu'il y a dans la mer du Nord 201 jours de mer houleuse. Enfin, on sait que l'amplitude moyenne de la marée à Heyst est de 3<sup>m</sup>,63.

« A l'aide de ces données, et admettant encore que le dépôt pendant les mers houleuses viendra s'ajouter au dépôt par mer calme pendant tout le cours de l'année, la hauteur du dépôt annuel se calcule ainsi qu'il suit :

$$\text{« Dépôt par mer calme : } \frac{3,63 \times 0,00185 \times 365 \times 2}{50} = 0^m,10$$

$$\text{« Dépôt par mer houleuse : } \frac{3,63 \times 0,023 \times 201 \times 2}{50} = 0^m,67$$

$$\text{« Dépôt annuel total } 0^m,77$$

« La Commission a pensé, au sujet de ce dernier mode d'évaluation, que, puisqu'elle avait accepté, dans les conditions restreintes toutefois indiquées par elle, la méthode de la première Commission consistant dans la comparaison du port projeté avec les ports de Blankenberghe et d'Ostende, on pouvait aussi, en effet, invoquer ce qui se passe dans les bassins de chasse du port de Breskens, où, d'après les renseignements donnés ci-dessus, les eaux ne déposent en moyenne que  $\frac{1}{50}$  du volume total des matières tenues en suspension. En d'autres termes, et malgré le peu d'analogie qui existera, au point de vue de l'importance des dépôts entre le port projeté et les bassins de chasse de Breskens, la Commission



a jugé qu'il y avait lieu de prendre également en considération le calcul précédent, et d'admettre en conséquence, bien entendu avec la restriction qu'y a mise l'auteur lui-même, le chiffre de, ci . . . . . 0<sup>m</sup>,77. »

Le rapport de la commission de 1884 ajoute :

*« En résumé, en présence de la concordance des résultats obtenus par les différentes méthodes d'évaluation, la Commission a cru pouvoir formuler définitivement, et à l'unanimité, l'opinion que la hauteur de l'envasement annuel dans le port projeté ne dépassera pas 0<sup>m</sup>,80. »*

*« Sans vouloir présenter ce chiffre comme un maximum, — toute affirmation trop nette en pareille matière lui paraissant impossible, — la Commission a pourtant la conviction d'avoir tenu largement compte, dans son évaluation, des prévisions les plus défavorables. »*

Nous devons à la vérité de dire que nous ne saurions partager cette manière de voir, et que l'opinion que nous avons acquise sur la question dont il s'agit, à la suite d'un séjour de plusieurs années le long de la côte de Blankenberghe, opinion qui s'est fortifiée encore au cours des discussions de la commission de 1878, ne s'est pas modifiée à la lecture des considérations qui précèdent. Celles-ci sont basées sur des faits très-hypothétiques, et aussi sur des données que nous croyons en partie erronées, comme nous tâcherons de le faire voir brièvement.

La Commission de 1884 admet qu'à Ymuiden les eaux de la mer, quoique plus claires à la surface, doivent tenir en suspension, tout au moins dans la masse de ses couches inférieures, du sable fin mêlé à de la vase en quantité notablement plus grande qu'à Heyst, où la plage est particulièrement amaigrie, comparée à celle d'Ymuiden. D'autre part, elle fait remarquer que, d'après les chiffres consignés dans les tableaux d'observations, la quantité totale des matières en suspension dans l'eau de mer, recueillie sur l'un ou sur l'autre point, ne paraît pas différer notablement; et, étant admis que la densité de celles-ci est plus grande à Ymuiden par suite de la plus grande quantité de sable qu'elles y contiennent, la Commission croit être fondée à conclure que les dépôts doivent être proportionnellement plus importants dans ce port, qu'ils ne le seraient dans le port projeté.

Ce raisonnement est fort juste; mais, il y a lieu de remarquer que les tableaux d'observations dont il est parlé, résultent de quelques expériences isolées, faites par des agents de l'administration communale de Bruges, sur des échantillons d'eau de mer recueillie devant Heyst et devant Ymuiden, à l'aide de petits tonnelets.

Ces observations, trop peu nombreuses d'abord, n'ont pas été faites dans les



conditions voulues pour permettre d'établir une comparaison quelque peu précise entre les quantités de matières que les eaux de la mer contiennent aux deux points précités, dans des circonstances à peu près identiques de vent et de marée.

Si l'on voulait avoir des éléments d'appréciation sérieux à cet égard, il faudrait y faire recueillir des échantillons d'eau de mer par des observateurs expérimentés, disposant à cet effet des appareils nécessaires, <sup>(1)</sup> et ce, pendant un grand nombre de jours de l'année, répartis entre les différentes saisons. Ces expériences devraient avoir lieu simultanément aux deux points, dans des conditions aussi semblables que possible par rapport aux instants où se produit la vitesse maximum des courants de flot et de jusant, et en procédant séparément pour les eaux recueillies à la surface et pour celles recueillies près du fond.

Nous sommes convaincu que les résultats que l'on obtiendrait de cette manière, constitueraient une preuve de plus, que la situation de Heyst, considérée au point de vue de l'envasement intérieur du port projeté, est bien plus défavorable que celle d'Ymuiden; la vitesse des courants de marée devant Heyst est en effet beaucoup plus grande que devant ce port, et la côte y est précédée, sur une vaste étendue, de fonds essentiellement vaseux, situés à de faibles profondeurs, et que la lame remue fortement dès le moindre gros temps; tandis que, devant Ymuiden, la plage sous-marine s'incline régulièrement vers les grands fonds. Ce sont là évidemment deux circonstances qui doivent influencer beaucoup sur la quantité de matières soulevées du fond et mises en suspension dans la masse des eaux, ainsi que la commission de 1878, dans la comparaison qu'elle a faite, entre Heyst et Ymuiden, l'a fait ressortir tout particulièrement. Il en est de même de celle résultant de la plus grande amplitude de la marée, dont dépend le volume de remplissage de l'enceinte.

Le rapport de la commission de 1884 dit ensuite qu'il aurait fallu prendre, dans la proportion dont on s'était servi pour calculer l'épaisseur probable de l'envasement du port de Heyst, la hauteur des marées moyennes, et non la hauteur des marées de vive eau.

Mais il ne s'agissait, dans l'esprit de la majorité de la commission de 1878, que d'arriver à une simple évaluation approximative, en restant dans des hypothèses favorables au projet; or, elle considérait comme telle le fait d'admettre des dépôts proportionnels à la profondeur de l'eau, alors qu'il paraît certain,

(1) On pourrait avantageusement se servir de tubes cylindriques en métal, que l'on plongerait dans l'eau, en les maintenant dans une position à peu près horizontale, et de façon que les eaux en mouvement sous l'action des courants de marée, puissent les traverser plus ou moins librement lorsque la mer n'est pas trop agitée. Puis à un même moment donné, on fermerait les extrémités des tubes à l'aide de deux disques mobiles, dont chacun d'eux serait muni.



au contraire, que ceux-ci doivent augmenter suivant une loi de progression plus ou moins rapide. Les observations faites au port de Saint-Nazaire sont du reste de nature à confirmer cette opinion. <sup>(1)</sup> Aussi, en admettant la proportionnalité des dépôts par rapport à l'accroissement de la profondeur, la commission de 1878 a voulu, par là-même, tenir compte du degré de calme relatif plus grand qui règne dans les bassins de Blankenberghe et d'Ostende; elle n'a donc pas perdu cet élément de vue, et elle a fait remarquer en outre que, pour ces bassins, il existe une autre circonstance qui doit, en revanche, atténuer sérieusement la rapidité de l'envasement : c'est que les eaux, avant d'y arriver, remontent le chenal et y déposent, à chaque marée, les parties les plus denses des vases qu'elles tiennent en suspension; ces dépôts sont ensuite refoulés en mer par l'action des chasses.

La commission de 1884 dit au même § de son rapport, que la hauteur de l'envasement dans le port d'Ymuiden ne doit être évaluée qu'à 0<sup>m</sup>,64 par an.

Or, il résulte de nos renseignements, que c'est 0<sup>m</sup>,80 au moins, qu'il faut admettre; ce chiffre correspond du reste aux quantités de dragages que l'on y fait annuellement, ainsi qu'on l'a fait remarquer au sein de la commission de 1878; et il nous semble pleinement confirmé par les données contenues dans l'ouvrage cité de M. Conrad, où il est dit entre autres : « Que du 1<sup>er</sup> août 1883, alors que la passe avait la profondeur prescrite, jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre de la même année, soit pendant deux mois, il s'est déposé dans la passe 82 000 mètres cubes de sable et de vase. »

Arrivons enfin au calcul, établi par un membre de la commission de 1884, et basé sur les dépôts qui ont lieu dans les bassins de chasse du port de Breskens.

Ces bassins se trouvent en amont et de chaque côté du port. Le premier a 7000 mètres carrés de superficie et une écluse de 3<sup>m</sup>,00 d'ouverture; le second a 5500 mètres carrés de superficie et une écluse de 2<sup>m</sup>,00 d'ouverture seulement. Les buses de ces écluses sont placés à 0<sup>m</sup>,75 au-dessus du niveau des basses mers de vive eau, et le plafond des bassins est plus élevé de quelques centimètres dans la partie d'amont.

Le fait des dépôts relativement faibles,  $\frac{1}{30}$  environ des matières contenues dans l'eau, s'explique en pareil cas. Ces bassins, qui ne fonctionnent qu'à l'époque des marées de vive eau, ne reçoivent chaque fois, à travers les passages étroits des écluses, que la tranche d'eau nécessaire à leur remplissage et dont la hauteur au-dessus du plafond est fort limitée; de plus, les courants d'émission, par suite

<sup>(1)</sup> Voir page 300.



du niveau élevé de ce dernier, entraînent, pendant que les bassins se vident, une grande partie des matières déposées.

Le même fait s'observe au bassin de chasse du port de Blankenberghe, quoique les pertuis de l'écluse y aient une ouverture totale beaucoup plus grande (16<sup>m</sup>,00), avec buscs placés au niveau des basses mers de vive eau.

Il ne s'est formé, en effet, dans la partie centrale de ce bassin, qu'un dépôt de 0<sup>m</sup>,52 d'épaisseur moyenne depuis l'époque où les chasses, dans le port, ont commencé à fonctionner, soit depuis plus de 12 ans, alors que dans le bassin d'échouage, qui se trouve immédiatement à côté, mais qui est constamment soumis aux oscillations de la marée, les dépôts de vase s'y sont accumulés avec une rapidité incroyable, au début surtout, lorsque le plafond était descendu à 1<sup>m</sup>,00 sous le niveau des basses mers.

Il nous semble donc que le calcul établi par un membre de la commission de 1884, et basé sur la quantité des dépôts qui se produisent dans les bassins de chasse du port de Breskens, n'est aucunement applicable, lorsqu'il s'agit d'évaluer les apports dans une enceinte, communiquant librement avec la mer par une large passe et dont le fond, au lieu de se trouver au-dessus du niveau des basses mers, serait creusé à une grande profondeur en contre-bas de ce niveau.





# TABLE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS. . . . .	I
-----------------------	---

## PREMIÈRE PARTIE.

### CHAPITRE I.

#### DES MOUVEMENTS DE LA MER.

##### I. — COURANTS GÉNÉRAUX DE L'OcéAN.

Causes des courants généraux de l'Océan. — Le Gulfstream. — Courant de Rennell. . . . .	1
---	---

##### II. — DE LA MARÉE ET DES COURANTS DE MARÉE.

Description générale du phénomène de la marée. — Théorie de Whewell. — Naissance d'une intumescence-mère dans chaque bassin océanique. — Ondes dérivées. — Retard des marées par rapport à la position des astres. — Marées des mers intérieures. — Longueur des ondes marées. — Profondeur de l'agitation causée par les ondes marées. — Vitesse de propagation. — Courbes cotidales. — Etablissement des ports. — Durée et hauteur des marées. — Unité de hauteur. — Courbes locales. — Courbes instantanées. — Niveau moyen de la mer. — Courants de marée. — Conditions qui caractérisent le mouvement particulier des molécules de l'eau soumises aux courants de marée. — Courants de flot et de jusant. — Etales de flot et de jusant. — Zones de flot et de jusant. — Influence exercée par la profondeur de la mer sur la vitesse des courants de marée. — Les courants de marée ne sont pas dus à la pente établie par les ondes à la surface de la mer. . . . .	5
--	---

##### III. — DU RÉGIME DES COURANTS DE MARÉE DANS LA MANCHE, LE PAS-DE-CALAIS ET LA MER DU NORD.

Opinion de M. Keller; interférence de deux ondes opposées et inégales. — Opinion émise avant M. Keller par M. Monnier; propagation d'une seule onde. — Faits cités par M. Keller à l'appui de son opinion. — Phénomènes distinctifs de l'interférence de deux ondes opposées égales. — Phénomènes intermédiaires entre la propagation d'une seule onde et l'interférence de deux ondes opposées égales. — Prédominance de l'onde de l'ouest. — Lois locales énoncées par M. Keller. — Courants alternatifs du large. — Courants giratoires du large. — Courants giratoires des zones littorales. — Etablissement du port et hauteur moyenne des marées de syzygies en divers points des côtes de la Manche et de la mer du Nord. . . . .	19
--	----



IV. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS DANS LES PARAGES COMPRIS ENTRE LE DÉTROIT DU PAS-DE-CALAIS ET LES BANCs DES FLANDRES ET DE LA TAMISE.	
Retard des étales des courants du large. — Direction et vitesse de ces courants.	
— Retard des étales des courants des zones littorales. — Direction et vitesse de ces courants. — Données relatives aux courants de marée devant Boulogne, Calais et Dunkerque.	26
V. — DES COURANTS DE MARÉE OBSERVÉS LE LONG DE LA CÔTE DE BELGIQUE.	
Caractères généraux des courants à l'intérieur des bancs des Flandres. — Observations de M. Stessels. — Observations de M. Petit. — Données relatives aux courants de marée devant Nieuport, Ostende, Heyst et Knocke.	28
VI. — DU MOUVEMENT DE LA MARÉE LE LONG DE LA CÔTE DES FLANDRES.	
Courbes de marées moyennes et niveau moyen de la mer à Ostende. — Courbes de marées et progression de la haute mer le long de ce littoral — Influence des vents.	
— Plus hautes mers connues.	33
VII. — DES COURANTS DE MARÉE A L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT. — PROPAGATION DE LA MARÉE A L'INTÉRIEUR DU FLEUVE	
Description des courants de marée dans l'estuaire de l'Escaut. — Mouvement de l'onde marée, — Données relatives à la marée observée en divers points du fleuve. — Courants de flot et de jusant. — Influence des vents. — Courbe de marée à Anvers.	
— Vitesse de propagation de l'onde marée.	34
VIII. — DES VAGUES.	
Caractères principaux du mouvement des vagues. — La houle. — Dimensions et formes des vagues de la mer. — Longueur et durée des vagues. — Transport de masse; opinion de M. Cialdi. — Constitution des vagues. — Profondeur de l'agitation. — Théorie de M. Cornaglia sur les flots de fond. — Hauteur des vagues devant la côte des Flandres. — Effets produits sur les matières du fond. — Propagation des vagues au-dessus du plan incliné qui précède le rivage. — Modifications des plages. — Force des vagues.	39

## CHAPITRE II.

### DES COTES ET DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD. — MARCHE DES ALLUVIONS.

I. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CÔTES DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD.	
Côtes rocheuses et côtes basses. — Nature et composition des côtes depuis Ouessant jusqu'au Texel, et depuis la pointe de Cornouailles jusqu'à l'embouchure de l'Humbr.	
— Conformité existant entre la côte de Douvres et celle de Calais.	51
II. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU FOND DE LA MANCHE, DU PAS-DE-CALAIS ET DE LA MER DU NORD.	
Profondeurs de la Manche et du Pas-de-Calais. — Nature et composition des dépôts marins. — Profondeurs de la mer du Nord. — Bancs et passes. — Nature et composition des dépôts marins.	55
III. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA MARCHE DES ALLUVIONS.	
Transports opérés par les courants. — Transports opérés par les vagues. — Erosions des côtes. — Cordons littoraux. — Galets. — Ensablement et envasement des baies. — Fjords.	
— Dunes. — Alluvions fluviales. — Deltas.	59



IV. — EROSIONS DES CÔTES ET MARCHE DES ALLUVIONS DANS LA MANCHE, LE PAS-DE-CALAIS ET LA PARTIE MÉRIDIONALE DE LA MER DU NORD.

Côtes granitiques de la Bretagne et du Cornouailles. — Cotentin. — Baie Saint-Michel. — Calvados et Seine-Inférieure. — Côte sud d'Angleterre. — Evaluation de l'épaisseur des érosions sur les côtes du Calvados. — Mouvement du galet. — Pointe du Hourdel. — Chesil-bank. — Pointe de Dungeness. — Production et durée du galet. — Gravier et sables. — Matières en suspension. — Gain de flot. — Transports opérés par les courants giratoires. — Effets du gain de flot. — Dépôts de vase et de sable vasard le long de la côte des Flandres et à l'embouchure de l'Escaut. — Importance relative des apports fluviaux. — Mouvement du sable des estrans sous l'action des courants et des vagues. — Effets des vagues de tempête. — Action du vent . . . . . 65

CHAPITRE III.

SITUATION HYDROGRAPHIQUE DE LA CÔTE DES FLANDRES, DEPUIS CALAIS JUSQU'A L'EMBOUCHURE DE L'ESCAUT.

I. — RÉGIME DES PLAGES.

Aspect général de la côte. — Situation primitive. — Nature des terrains d'alluvion qui bordent le littoral. — Description des plages, des dunes et des digues . . . . . 76

II. — DES BANCs ET DES PASSES DE LA CÔTE, DEPUIS CALAIS JUSQU'A BLANKENBERGHE; CONDITIONS D'ACCESSIBILITÉ DES PORTS DE CE LITTORAL.

Atterrages de Calais et de Gravelines. — Bancs des Flandres situés dans le nord de Gravelines et de Dunkerque. — Rade de Dunkerque. — Eclairage et balisage. — Bancs des Flandres situés dans le nord de Nieuport et d'Ostende. — Rade de Nieuport. — Rades d'Ostende. — Atterrage de Blankenberghe. — Plateaux situés au large des bancs précités. 83

III. — ESTUAIRE DE L'ESCAUT ET CÔTE DE HEYST.

Description sommaire du fleuve — Importance du flux. — Influence des courants de flot et de jusant sur le lit du fleuve. — Passes de l'embouchure: le Wielingen, le Spleet, le Deurloo et l'Oostgat; bancs limitant ces passes. — Eclairage et balisage. — Rade de Flessingue et plateaux avoisinants. — Fosse de Heyst. . . . . 95

CHAPITRE IV.

RÉGIME DES FONDS SOUS-MARINS SITUÉS DEVANT LA CÔTE DES FLANDRES.

I. — RÉGION COMPRISE ENTRE CALAIS ET LA FRONTIÈRE DE BELGIQUE.

Reconnaissance hydrographique de la côte nord de France de 1861; rapport de M. de la Roche-Poncié. — Reconnaissance hydrographique de l'atterrage de Dunkerque, faite en 1879 par M. l'Ingénieur Ploix. . . . . 104

II. — RADE DE NIEUPOORT ET FONDS ENVIRONNANTS.

Régime de la rade de Nieuport et de ses passes d'accès, d'après les reconnaissances hydrographiques de 1801, 1836, 1866 et 1883, et la carte de 1776. — Régime des bancs et des chenaux environnants. — Résumé. . . . . 108

III. — RADES D'OSTENDE ET FONDS ENVIRONNANTS.

Régime de la rade extérieure, d'après les reconnaissances hydrographiques de 1801, 1866 et 1880. — Régime des bancs et des chenaux environnants. — Stroombank et rade intérieure. — Plans de la rade intérieure, de 1804 et de 1867. — Résumé. — Conclusions générales. 114



IV. — ESTUAIRE LE L'ESCAUT ET CÔTE DE HEYST.

Régime des fonds situés au large des bancs de l'estuaire, d'après les reconnaissances hydrographiques faites de 1799 à 1811, en 1825, 1842, 1855, 1865 et 1878. — Régime de l'Oostgat, du Deurloo, du Spleet, du Wielingen et des bancs limitant ces passes. — Régime du Paardemarkt, du plateau Het Zand et de la fosse de Heyst. — Résumé. — Conclusions générales. — Stabilité relative de la passe d'accès de l'atterrage de Heyst. 119

V. — PLAGES ET DUNES DE LA CÔTE DES FLANDRES.

Situation des dunes, depuis la frontière française jusqu'à Wenduïne. — Action envahissante de la mer entre Wenduïne et Heyst. — Digue du comte Jean. — Empiètements de la mer entre Ostende et Wenduïne et devant Knocke. — Etat amaigri des dunes et des plages situées entre Wenduïne et Heyst. — Conditions de sécurité de cette partie du littoral . . . . . 134

---

SECONDE PARTIE.

---

CHAPITRE V.

AMÉLIORATION DES PORTS A MARÉE COMME CEUX EXISTANTS SUR LA COTE DES FLANDRES. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

I. — DISPOSITION DU CHENAL D'ENTRÉE.

Jetées à claire-voie. — Encoffrements. — Jetées métalliques à l'embouchure de l'Adour. — Jetée de l'anse du Portel. — Orientation des jetées. — Brise-lames. — Longueur et direction des jetées . . . . . 141

II. — MOYENS EN USAGE POUR ENTREtenir LA PROFONDEUR DES PORTS A MARÉE.

Atterrissements de la barre. — Obstacles qui s'opposent à reporter l'entrée des ports de la côte de Belgique en dehors de la zone littorale. — Disposition des jetées proposée par M. A. Caland pour la construction d'un port à Scheveningue. — Digue préconisée par M. Knapp. — Dispositif de môles proposé par M. Cialdi. — Prolongement des jetées. — Rétrécissement des plages situées de part et d'autre du chenal, au moyen de digues en saillie. — Système des chasses. — Dispositions à donner aux bassins et aux écluses. — Abaissement du radier des écluses de chasse. — Inconvénients des chasses. — Guideaux employés à Dunkerque — Procédés pour attaquer directement le sable de la barre. — Essais faits à Calais; système de M. Bergeron. — Essais faits à Nieuport. — Travaux exécutés par M. l'Ingénieur en Chef Lyster à Liverpool. — Bateaux-herseurs employés au creusement des passes du Mississipi. . . . . 147

III. — DES DRAGAGES ET DE LEUR APPLICATION A L'ENTRETIEN ET A L'APPROFONDISSEMENT DES PORTS.

Travaux d'amélioration de la Tyne. — Travaux d'amélioration de la Clyde — Dragues à échelle. — Dragues avec propulseurs centrifuges; dispositifs employés au creusement du nouveau canal d'Amsterdam, à celui du bassin aux bois du port de Gand et à l'approfondissement du canal de Terneuzen. — Dragues à cuiller. — Dragues à mâchoires ou clam shells. — Essais faits avec les dragues à mâchoires de MM. Priestmans, frères, à la nouvelle embouchure de la Meuse. — Dragues à aspiration. — Bateaux-pompeurs



employés à Saint-Nazaire. — Dragues américaines de Henry Burden et de Newton. — Dragues de la compagnie Fives-Lille employées au port de Dunkerque. — Dragues hollandaises. — Dragues fonctionnant au port d'Ostende. — Avantages des dragues à aspiration pour travailler à la mer . . . . . 164

## CHAPITRE VI.

### DES PORTS DE LA COTE DES FLANDRES, CONSIDÉRÉS PRINCIPALEMENT SOUS LE RAPPORT DU RÉGIME DE LA BARRE EXISTANT A L'ENTRÉE.

#### I. — CALAIS. — GRAVELINES. — DUNKERQUE.

**Port de Calais** — Description du port. — Situation de la barre. — Effets des chasses. — Dragages exécutés sur la barre; résultats obtenus. — Nouveaux travaux en exécution. — **Port de Gravelines**. — Description du port. — Situation de la barre. — **Port de Dunkerque**. — Description du port. — Situation de la barre. — Effets des chasses. — Extension projetée pour les chasses. — Dragages exécutés sur la barre; résultats obtenus. — Nouveaux travaux en exécution. . . . . 188

#### II. — NIEUPORT. — OSTENDE. — BLANKENBERGHE.

**Port de Nieuport**. — Description du port. — Importance des eaux supérieures qui se déversent dans le chenal. — Effets des chasses naturelles. — **Port d'Ostende**. — Description du port. — Particularités relatives au régime de la plage. — Situation de la barre. — Effets des chasses. — Dragages exécutés sur la barre; résultats obtenus. — **Port de Blankenberghe**. — Description du port. — Situation de la barre. — Effets des chasses. — Régime favorable de l'estran devant Blankenberghe et Heyst, au point de vue des dangers d'ensablement des ports . . . . . 201

## CHAPITRE VII.

### DE L'AMÉLIORATION DES PORTS EXISTANTS SUR LA COTE DE BELGIQUE.

#### I. — PORT DE NIEUPORT.

Atterrage de Nieuport. — Profondeur du chenal et des bassins des principaux ports de commerce. — Profondeur à réaliser à Nieuport. — Prolongement des jetées et rétrécissement de la plage des deux côtés du port, au moyen de digues en saillie. — Dispositions proposées pour le chenal et l'avant-port. — Organisation d'un système de chasses. — Emploi éventuel de dragages. — Dispositif destiné à utiliser les bassins de chasse comme bassins de secours, lors des crues exceptionnelles de l'Yser. — Bassins à flot. — Dimensions à donner aux écluses d'entrée. — Aménagement des quais. — Gare maritime. — Formes de radoub . . . . . 223

#### II. — PORT D'OSTENDE.

Atterrage d'Ostende. — Des projets d'endiguement du Stroombank pour créer, devant Ostende, une rade artificielle couverte; comparaison avec les rades de Cherbourg, de Portland et de Plymouth. — Du projet de construction d'un débarcadère sur le Stroombank. — Moyens d'améliorer la rade intérieure d'Ostende. — Amélioration du port. — Action combinée des chasses et des dragages. — Prolongement des jetées. — Projet de M. l'Ingénieur Symon . . . . . 241

#### III. — PORT DE BLANKENBERGHE.

Agrandissement du bassin des chasses. — Travaux destinés à prévenir l'envasement du bassin d'échouage. . . . . 252



## CHAPITRE VIII.

### DES PORTS EN EAU PROFONDE. — PROJET D'ÉTABLISSEMENT D'UN NOUVEAU PORT SUR LA CÔTE DE HEYST.

#### I. — DES PORTS EN EAU PROFONDE.

Considérations générales. — **Port de Boulogne.** — Situation hydrographique. — Nouveau port en construction. — Prévisions concernant le danger d'ensablement des passes et celui de l'envasement intérieur; opinion de MM. Stœcklin et Laroche; expériences de M. Ploix. — **Port de Nieuwe Diep.** — Situation hydrographique. — Description du port. — **Port d'Ymuiden.** — Situation hydrographique. — Ensablements dans les angles extérieurs compris entre les jetées et la dune et devant l'entrée. — Dispositifs d'enceinte proposés par MM. Dirks et Waldorp. — Envasement intérieur du port. — Conditions de navigabilité. — Nouveau canal d'Amsterdam. — **Port de Douvres.** — Situation hydrographique. — Divers projets qui ont été proposés pour construire devant Douvres un grand port de refuge. — Prévisions concernant la marche du galet et l'envasement intérieur. — Jetée de l'Amirauté. — **Port de Kingstown.** — Situation hydrographique. — Conditions excellentes du port sous le rapport des ensablements et des envasements. — **Port de Howth.** — Disposition du port. — Ensablement et envasement de l'enceinte. . . . . 255

#### II. — PROJET DE PORT A HEYST.

Atterrage de Heyst. — Projet de M. de Maere. — Conditions d'accessibilité et de navigabilité du port projeté. — Questions relatives aux ensablements dans les angles extérieurs compris entre les jetées et la dune, et devant l'entrée. — Envasement intérieur. — Rapport de M. l'Ingénieur en Chef Piens. — Composition des dépôts. — Observations sur l'envasement du port de Saint-Nazaire. — Epaisseur probable de l'envasement au port projeté par M. de Maere. — Transport des déblais. — Entretien d'une passe centrale. — Différence entre la situation de Heyst et celle d'Ymuiden. — Résumé des conclusions concernant le projet d'établissement à Heyst, d'un port dans le genre de celui d'Ymuiden. — Dispositif à suivre pour construire un nouveau port à Heyst. . . . . 287

## ANNEXES.

#### ANNEXE I. — INSTALLATIONS MARITIMES ET OUTILLAGE HYDRAULIQUE DU PORT D'ANVERS.

Nouveaux quais de l'Escaut; procédés employés pour leur construction. — Nouveau bassin de batelage. — Port d'Anvers proprement dit; bassins à flot. — Emploi des machines à eau sous pression; considérations générales. — Description sommaire de l'outillage hydraulique des bassins et de la gare principale d'Anvers-Bassins, ainsi que des nouveaux quais. . . . . 314

#### ANNEXE II. — CONSTRUCTION DES MÔLES.

Digues de Cherbourg, de Portland, de Plymouth. — Jetées de l'Amirauté, d'Ymuiden, d'Alger, de Marseille, de Port-Saïd et de Boulogne. . . . . , . . . . 334

#### ANNEXE III. — CONCLUSION DE LA COMMISSION INSTITUÉE EN 1884 PAR L'ADMINISTRATION COMMUNALE DE LA VILLE DE BRUGES, A L'EFFET D'ÉTUDIER, AU POINT DE VUE DES ENSABLEMENTS ET DES ENVASEMENTS, LE PROJET D'ÉTABLISSEMENT D'UN PORT A HEYST, PRÉSENTÉ PAR M. DE MAERE.

Résumé des conclusions concernant cette question, formulées par la commission de 1878. — Principales considérations développées dans le rapport de la commission de 1884. — Objections. . . . . 341



